



TUGAS AKHIR – RC141501

**MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR BAJA
SISTEM RANGKA PENGAJU EKSENTRIS (SRPE)
DENGAN PERBANDINGAN BERAT MATERIAL
BAJA TERHADAP SISTEM *STAGGERED TRUSS*
FRAMES (STF) PADA APARTEMEN PURIMAS
SURABAYA**

ILHAM PRATAMA BUDIONO
NRP 3113 100 036

Dosen Pembimbing :
Endah Wahyuni, S.T.,M.Sc., Ph.D
Ir.Isdarmanu , M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RC141501

**PLANNING MODIFICATION OF ECCENTRICALLY
BRACED FRAMES (EBF) STEEL STRUCTURE
SYSTEM WITH STEEL MATERIAL WEIGHT
COMPARISON ON STAGGERED TRUSS FRAMES
(STF) SYSTEM IN PURIMAS SURABAYA
APARTMENT**

ILHAM PRATAMA BUDIONO
NRP 3113 100 036

Supervisor :
Endah Wahyuni, S.T.,M.Sc., Ph.D
Ir.Isdarmanu , M.Sc.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

**MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR
BAJA SISTEM RANGKA PENGAKU
EKSENTRIS (SRPE) DENGAN PERBANDINGAN
BERAT MATERIAL BAJA TERHADAP SISTEM
STAGGERED TRUSS FRAMES (STF) PADA
APARTEMEN PURIMAS SURABAYA**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu
Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

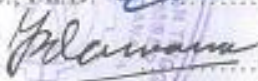
Oleh :

ILHAM PRATAMA BUDIONO

NRP. 3113 100 036

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D.  (Pembimbing I)

Ir Isdarmanu, M.Sc.  (Pembimbing II)



**SURABAYA
JULI, 2017**

**MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR BAJA
SISTEM RANGKA PENGAKU EKSENTRIS (SRPE)
DENGAN PERBANDINGAN BERAT MATERIAL BAJA
TERHADAP SISTEM *STAGGERED TRUSS FRAMES* (STF)
PADA APARTEMEN PURIMAS SURABAYA**

Nama Mahasiswa	: Ilham Pratama Budiono
NRP	: 3113100036
Jurusan	: Teknik Sipil FTSP - ITS
Dosen Pembimbing	: Endah Wahyuni, ST.,MSc., PhD Ir.Isdarmanu , M.Sc

Abstrak

Pemilihan suatu sistem struktur baja penahan gempa tentunya memerhatikan bagaimana cara membuat struktur bangunan baja menjadi ringan dan kuat. Sistem rangka pengaku eksentris (SRPE) dan staggered truss frames (STF) merupakan beberapa contoh dari sistem penahan gempa pada struktur baja. Apartemen Purimas Surabaya merupakan bangunan 14 lantai yang dimodifikasi dengan menggunakan SRPE dan STF untuk dibandingkan berat material struktur utamanya pada kedua sistem tersebut.

Dalam Tugas Akhir ini, dilakukan perencanaan struktur baja dengan SRPE meliputi perencanaan struktur sekunder, primer dan pondasi yang mengacu pada PPIUG 1983, SNI 03-1729-2002, SNI 1729:2015, SNI 1726:2012, SNI 2847:2013 dan lain-lain. Berat material sturktur hasil dari perencanaan tersebut dibandingkan dengan hasil perencanaan STF pada tugas akhir “Studi Perilaku Staggered Truss Framing Systems pada Gedung Apartemen Purimas Surabaya”.

Berdasarkan analisa dan hasil perhitungan diperoleh hasil, yaitu: pelat atap dan lantai HCS 15 cm, balok *link* WF400.200.8.13, bresing WF200.200.9.14, kolom CFT 400.400.14, balok induk WF300.200.7.10. Sambungan struktur utama direncanakan sebagai sambungan mutu tinggi dengan baut yang telah disesuaikan. Perencanaan pondasi menggunakan tiang pancang beton pracetak diameter 60 cm dengan kedalaman 30 m dengan 3 tipe *pilecap*. Berat material struktur utama pada SRPE sebesar 1105 ton, sedangkan pada STF didapatkan 763 ton.

Kata kunci : Struktur Baja, Gempa, Sistem Rangka Pengaku Eksentris, Staggered Truss Frames, Bangunan Apartemen

PLANNING MODIFICATION OF ECCENTRICALLY BRACED FRAMES (EBF) STEEL STRUCTURE SYSTEM WITH STEEL MATERIAL WEIGHT COMPARISON ON STAGGERED TRUSS FRAMES (STF) SYSTEM IN PURIMAS SURABAYA APARTMENT

Student Name : Ilham Pratama Budiono
Student Registry Number : 3113100036
Department : Teknik Sipil FTSP - ITS
Supervisor : Endah Wahyuni, ST., MSc., PhD
Ir. Isdarmanu, M.Sc

Abstract

The selection of an earthquake-resistant steel structure system surely noticed how to make steel structure building become light and strong. The Eccentrically Braced Frames system (EBF) and Staggered Truss Frames system (STF) are some examples of earthquake-resistant systems in steel structures. Purimas Surabaya Apartment is a 14-story building that will be modified using SRPE and STF to compare the weight of the primary structure material on both systems.

In this Final Project, the planning of EBF steel structures consists of the planning of secondary structure, primary structure, connections, and foundation that refer from PPIUG 1983, SNI 03-1729 2002, SNI 1729: 2015, SNI 1726: 2012, SNI 2847: 2013 etc. The weight of the primary structural material from planning result is compared with the STF planning result in the final assignment of "Studi Perilaku Staggered Truss Framing Systems pada Gedung Apartemen Purimas Surabaya".

Based on the analysis and calculation results which can be obtained are 15 cm roof HCS for roof and floors plate, WF400.200.8.13 is the dimension of link beam, WF200.200.9.14 is the dimension of bracing, WF300.200.7.10 is the dimension of main beam, CFT400.400.14 is the dimension of column. Primary structure connections is designed with customized high tension bolts. Foundation planning use precast concrete piles with 60 cm diameter, and 30 m depth with 3 types of pilecap. The weight of the main structure material in each structure system which can be obtained are EBF is 1105 tons, while in STF 763 tons.

Keywords: Steel Structure, Earthquake, Eccentric Braced Frames, Staggered Truss Frames, Apartment Building

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Modifikasi Perencanaan Struktur Baja Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE) Dengan Perbandingan Berat Material Baja Terhadap Sistem *Staggered Truss Frames* (STF) Pada Apartemen Purimas Surabaya”. Tugas Akhir ini disusun penulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS.

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang besar penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan baik moril dan materil, dan menjadi motivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Endah Wahyuni, ST., MSc., PhD dan Bapak Ir Isdarmanu M.Sc selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dan tulus dalam memberikan bimbingan dan motivasi.
3. Teman-teman CEITS 2013 yang sangat membantu penyelesaian tugas ini dan Lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
4. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap laporan ini nantinya dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

Abstrak i

Abstract iii

KATA PENGANTAR..... v

DAFTAR ISI..... vii

DAFTAR GAMBAR.....xiii

DAFTAR TABELxvii

BAB 1 PENDAHULUAN..... 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 3

1.2.1 Permasalahan Utama..... 3

1.2.2 Detail Permasalahan 3

1.3 Maksud dan Tujuan 4

1.3.1 Tujuan Utama..... 4

1.3.2 Detail Tujuan 4

1.4 Batasan Masalah..... 4

1.5 Manfaat Penelitian 5

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA..... 7

2.1 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa..... 7

2.2 Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE) 9

2.2.1 Konsep Dasar SRPE 9

2.2.2 Perencanaan *Link*..... 10

2.3 Staggered Truss Framing (STF) 14

2.4 Analisa Pembebanan.....	18
2.4.1 Beban Mati.....	18
2.4.2 Beban Hidup.....	18
2.4.3 Beban Gempa	18
2.4.4 Kombinasi Pembebanan.....	27
2.5 Perencanaan Elemen Struktur	28
2.5.1 Elemen Struktur yang Menerima Gaya Aksial	28
2.5.2 Elemen Struktur yang Menerima Gaya Lentur.....	30
Sebuah balok yang memikul beban lentur murni terfaktor Mu harus direncanakan sedemikian rupa sehingga selalu terpenuhi hubungan:	30
2.5.3 Amplifikasi Momen.....	34
2.5.4 Kombinasi Gaya Aksial dan Lentur	37
2.5.5 Elemen Struktur yang Menerima Gaya Geser.....	38
2.6 Perencanaan Sambungan.....	40
2.6.1 Sambungan Baut	40
2.6.2 Sambungan Las.....	43
2.7 Perencanaan Pondasi	46
2.7.1 Perhitungan Daya Dukung Ujung Tiang	46
2.7.2 Perhitungan Daya Dukung Selimut Tiang....	47
2.7.3 Perhitungan Daya Dukung <i>Ultimate</i> Tiang ..	47
2.7.4 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok	47

2.7.5 Perencanaan Poer.....	50
2.7.5 Perencanaan Poer.....	50
2.7.6 Penulangan Poer.....	54
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	55
3.1 Diagram Alir Rencana Penyelesaian Tugas Akhir ..	55
3.2 Pengumpulan Data.....	56
3.2.1 Data Umum Bangunan.....	56
3.2.2 Data Tanah.....	57
3.2.3 Data Modifikasi Perencanaan Struktur STF .	57
3.3 Studi Literatur	58
3.4 Model Modifikasi Struktur	58
3.4.1 Modifikasi Struktur SRPE	59
3.4.2 Modifikasi Struktur STF.....	59
3.5 <i>Preliminary Design</i>	60
3.6 Permodelan Struktur Sekunder	61
3.7 Analisa Pembebanan.....	61
3.7.1 Beban Mati	62
3.7.2 Beban Hidup	62
3.7.3 Beban Angin	62
3.7.4 Beban Gempa.....	62
3.8 Permodelan dan Analisa Struktur	63
3.9 Kontrol Desain	63
3.10 Perencanaan Struktur Utama.....	63
3.10.1 Perencanaan Balok Induk	63

3.10.2 Perencanaan Kolom.....	64
3.10.3 Perencanaan Sistem Rangka Pengaku Eksentris	64
3.11 Perencanaan Sambungan.....	64
3.12 Perencanaan Pondasi	64
3.13 Perbandingan Berat Struktur Utama.....	65
3.13.1 Variabel Penelitian	65
3.13.2 Perhitungan Berat Struktur SRPE	66
3.13.3 Perhitungan Berat Struktur STF.....	66
3.14 Pembuatan Gambar Perencanaan.....	66
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	69
4.1 Perencanaan Elemen Struktur Sekunder	69
4.1.1 Perencanaan Struktur Pelat.....	69
4.1.2 Perencanaan Struktur Tangga dan Bordes	71
4.1.3 Perencanaan Struktur Balok Penggantung <i>Lift</i>	86
4.2 Permodelan Struktur	94
4.2.1 Pembebanan Struktur Utama.....	95
4.2.2 Kontrol Permodelan struktur	97
4.2.3 Pembebanan Gempa Dinamis	98
4.2.3.1 Permodelan Pelat sebagai Diafragma	98
4.2.4 Kombinasi Pembebanan.....	104
4.2.5 Analisis Struktur	104
4.2.6 Perbandingan Analisa Struktur	110
4.3 Perencanaan Elemen Struktur Primer	111

4.3.1	Perencanaan <i>Link</i>	111
4.3.2	Perencanaan Balok di Luar <i>Link</i>	118
4.3.3	Perencanaan Bresing	124
4.3.4	Perencanaan Balok Induk	130
4.3.5	Perencanaan Kolom	137
4.4	Perbandingan Berat SRPE dengan STF pada Perencanaan Apartemen Purimas Surabaya.....	143
4.4.1	Berat Material Sistem Rangka Pengaku Eksentris	143
4.4.2	Berat Material Sistem <i>Staggered Truss Frames</i>	145
4.4.3	Perbandingan Berat Total Struktur	147
4.5	Perencanaan Sambungan	148
4.5.1	Sambungan Balok Utama Tangga dengan Balok Penumpu Tangga	148
4.5.2	Sambungan Balok Penumpu Tangga dengan Kolom.....	151
4.5.3	Sambungan Balok Luar <i>Link</i> dengan Kolom.....	155
4.5.4	Sambungan Bresing	162
4.5.5	Sambungan Balok Induk dengan Kolom....	167
4.5.6	Sambungan antar Kolom	174
4.5.7	Sambungan Kolom dengan <i>Base plate</i>	176
4.6	Perencanaan Struktur Bawah.....	182
4.6.1	Perencanaan Pondasi.....	182
4.6.2	Perencanaan <i>Pilecap</i>	188

4.6.3 Perencanaan Kolom Pedestal.....	196
4.6.4 Perencanaan Balok <i>Sloof</i>	198
BAB 5 PENUTUP.....	203
5.1 Kesimpulan.....	203
5.2 Saran.....	206
DAFTAR PUSTAKA.....	207

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja	8
Gambar 2. 2 Tipe Konfigurasi SRPE.....	10
Gambar 2. 3 Free body Diagram dan gaya pada Link	11
Gambar 2. 4 Sudut Rotasi Link Beam.....	13
Gambar 2. 5 Staggered Truss Framing Systems	15
Gambar 2. 6 Tipe Staggered Truss Frames.....	16
Gambar 2. 7 Arah beban lateral pada STF.....	16
Gambar 2. 8 Bagian – bagian STF secara umum	17
Gambar 2. 9 Peta Spektra 0,2 detik untuk periode ulang gempa 2500 tahun	19
Gambar 2. 10 Peta spektra 1 detik untuk periode ulang gempa 2500 tahun	19
Gambar 2. 11. Jarak pemasangan baut.....	42
Gambar 2. 12 Pengaruh Momen Arah X dan Y pada perhitungan tiang pancang kelompok	50
Gambar 2. 13 Kontrol Geser Pons pada Poer akibat Kolom	51
Gambar 2. 14 Kontrol Geser Pons pada Poer akibat Tiang Pancang	53
 Gambar 3. 1 Diagram Alir Rencana Penyelesaian Tugas Akhir .	56
Gambar 3. 2 Denah Modifikasi Struktur SRPE.....	59
Gambar 3. 3 Potongan Melintang dan Memanjang Modifikasi Struktur SRPE	59
Gambar 3. 4 Denah Modifikasi Struktur STF	59
Gambar 3. 5 Potongan Melintang dan Memanjang Modifikasi Struktur STF.....	60
 Gambar 4. 1 Denah Tangga dan Bordes.....	71
Gambar 4. 2 Potongan Tangga.....	72

Gambar 4. 3 Sketsa Pembebanan Balok Utama Tangga	77
Gambar 4. 4 Bidang M Balok Utama Tangga	78
Gambar 4. 5 Bidang D Balok Utama Tangga	79
Gambar 4. 6 Bidang N Balok Utama Tangga	80
Gambar 4. 7 Analisa Lendutan Balok Utama Tangga	82
Gambar 4. 8 Sketsa Pembebanan Balok Penumpu Tangga	83
Gambar 4. 9 Analisa Lendutan Balok Penumpu Tangga	86
Gambar 4. 10 Lift	87
Gambar 4. 11 Hoistway Section	88
Gambar 4. 12 Sketsa Pembebanan Balok Penggantung Lift	89
Gambar 4. 13 Diagram Momen Balok Penggantung Lift	91
Gambar 4. 14 Analisa Lendutan Balok Penggantung Lift	93
Gambar 4. 15 Denah Struktur Apartemen Purimas Surabaya	94
Gambar 4. 16 Permodelan Struktur SRPE	95
Gambar 4. 17 Grafik Spektral Percepatan Gempa Wilayah Surabaya Tanah Lunak	102
Gambar 4. 18 Elemen Link Arah X	111
Gambar 4. 19 Elemen Link dan Pengaku	114
Gambar 4. 20 Elemen Link Arah Y	115
Gambar 4. 21 Elemen Balok di Luar Link Arah X	118
Gambar 4. 22 Elemen Balok di Luar Link Arah Y	121
Gambar 4. 23 Elemen Bresing Arah X	125
Gambar 4. 24 Elemen Bresing Arah Y	128
Gambar 4. 25 Elemen Balok Induk Arah X	130
Gambar 4. 26 Diagram Gaya Dalam Balok Induk Arah X	132
Gambar 4. 27 Elemen Balok Induk Arah Y	134
Gambar 4. 28 Diagram Gaya Dalam Balok Induk Arah Y	136
Gambar 4. 29 Elemen Kolom CFT	137
Gambar 4. 30 Permodelan SRPE	143
Gambar 4. 31 Permodelan STF	145
Gambar 4. 32 Bidang Geser pada profil $\angle 60 \times 60 \times 6$	150

Gambar 4. 33 Sambungan Balok Utama Tangga dengan Balok Penumpu Tangga	151
Gambar 4. 34 Bidang Geser pada profil $\angle 60 \times 60 \times 6$	153
Gambar 4. 35 Sambungan Balok Penumpu Tangga dengan Kolom	154
Gambar 4. 36 Bidang Geser pada pelat.....	157
Gambar 4. 37 Tampak Atas Sambungan Balok Luar Link dengan Kolom.....	161
Gambar 4. 38 Potongan A-A Sambungan Balok Luar Link dengan Kolom	162
Gambar 4. 39 Block Shear pada Profil Bresing	164
Gambar 4. 40 Sambungan Bresing pada Balok Induk	166
Gambar 4. 41 Sambungan Bresing pada Balok Induk dan Kolom	167
Gambar 4. 42 Bidang geser pada profil $\angle 60 \times 60 \times 6$	170
Gambar 4. 43 Tampak Atas Sambungan Balok Induk dengan Kolom.....	173
Gambar 4. 44 Potongan A-A Sambungan Balok Induk dengan Kolom.....	174
Gambar 4. 45 Tampak atas sambungan kolom	176
Gambar 4. 46 Potongan sambungan antar kolom	176
Gambar 4. 47 Tampak Atas Sambungan Kolom dengan Base plate.....	181
Gambar 4. 48 Tampak Samping Sambungan Kolom dengan Base plate.....	181
Gambar 4. 49 Denah Rencana Pondasi	182
Gambar 4. 50 Konfigurasi Tiang Pancang pada Pilecap Tipe 1	185
Gambar 4. 51 Penampang Kritis Pilecap akibat Pedestal.....	189
Gambar 4. 52 Penampang Kritis Pilecap akibat Tiang Pancang	190
Gambar 4. 53 Daerah Beban Penulangan Lentur Arah Sumbu X	191

Gambar 4. 54 Daerah Beban Penulangan Lentur Arah Sumbu Y	193
Gambar 4. 55 Hasil Analisa Kolom Pedestal menggunakan spcolumm	197
Gambar 4. 56 Penulangan Kolom Pedestal	198
Gambar 4. 57 Potongan Melintang Balok Sloof	202

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi jarak pengaku badan	14
Tabel 2. 2 Klasifikasi situs	20
Tabel 2. 3 Koefisien situs F_a	20
Tabel 2. 4 Koefisien <i>situs</i> F_v	21
Tabel 2. 5 Koefisien untuk batas atas perioda yang dihitung	22
Tabel 2. 6 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x	22
Tabel 2. 7 Kategori Risiko Bangunan	23
Tabel 2. 8 Faktor Keutamaan Gempa	24
Tabel 2. 9 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek	24
Tabel 2. 10 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 detik	24
Tabel 2. 11 Koefisien Modifikasi Respons	25
Tabel 2. 12 Rasio kelangsingan untuk elemen baja tekan struktur komposit	29
Tabel 2. 13 Batas – Batas Pengekang Lateral	32
Tabel 2. 14 Ukuran minimum las sudut	44
Tabel 4. 1 Rekapitulasi Pembebanan Gravitasi	97
Tabel 4. 2 Perhitungan $N_{rata-rata}$	99
Tabel 4. 3 Rekapitulasi Parameter Respon Gempa Surabaya untuk Kelas Situs E (Tanah Lunak)	103
Tabel 4. 4 R^a, Ω_0, C_d untuk sistem penahan gempa	103
Tabel 4. 5 Rasio Partisipasi Massa	105
Tabel 4. 6 Periode dan Frekuensi Struktur	106
Tabel 4. 7 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa	108
Tabel 4. 8 Kontrol Simpangan Antar Lantai akibat Gempa X ..	109
Tabel 4. 9 Kontrol Simpangan Antar Lantai akibat Gempa Y ..	110
Tabel 4. 10 Berat Material lantai 1 SRPE	144

Tabel 4. 11 Berat Material lantai 2-Atap SRPE.....	144
Tabel 4. 12 Berat Material lantai 1 STF.....	145
Tabel 4. 13 Berat Material lantai 2 STF.....	146
Tabel 4. 14 Berat Material lantai 3-13 STF.....	146
Tabel 4. 15 Berat Material lantai Atap STF	146
Tabel 4. 16 Berat Total Struktur SRPE dan STF	147
Tabel 4. 17 Data Tanah SPT dan Nilai Koreksi (N').....	183

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa tektonik merupakan guncangan dari dalam bumi baik di darat maupun laut yang diakibatkan karena adanya pergeseran lempeng tektonik secara mendadak. Gempa tektonik memiliki resiko besar pada suatu daerah yang dilewati oleh lempeng tektonik. Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik terbesar di dunia yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik yang bergerak dan saling mendesak satu sama lain. Indonesia telah mengalami ribuan gempa bumi dan ratusan tsunami pada rentang empat ratus tahun terakhir (Aydan, 2008). Sebagai contoh gempa tektonik terbesar yang terjadi di beberapa daerah Indonesia hingga saat ini adalah gempa bumi Aceh dan Sumatera Utara yang diikuti dengan tsunami terjadi pada Desember 2004, dan gempa bumi Sumatera Barat terjadi pada September 2009. Semua gempa yang terjadi tersebut menimbulkan ribuan korban jiwa, kerugian materiil, dan bangunan mengalami rusak berat.

Perencanaan bangunan tahan gempa sangat penting diterapkan di Indonesia yang merupakan salah satu daerah dengan resiko bencana gempa yang cukup besar dalam beberapa dekade mendatang. Dengan adanya perencanaan bangunan tahan gempa tersebut, maka diharapkan dapat mencegah kegagalan struktur, bahkan jumlah korban jiwa ketika gempa terjadi. Oleh karena itu, dalam merencanakan bangunan tahan gempa harus mengutamakan keselamatan dan kenyamanan orang yang berada pada bangunan tersebut. Material dan sistem struktur merupakan hal utama yang diperlukan dalam perencanaan konstruksi bangunan tahan gempa.

Baja merupakan salah satu material yang dapat menjadi solusi dalam perencanaan konstruksi bangunan tahan gempa. Hal ini dikarenakan baja memiliki sifat – sifat yang lebih unggul jika dibandingkan dengan material yang lain. Beberapa keunggulan material baja adalah berkekuatan tinggi, memiliki sifat daktilitas, dan memiliki umur relatif panjang dengan dilakukan perawatan.

Pada perencanaan struktur bangunan baja terdapat berbagai macam sistem struktur pemikul beban / gempa pada gedung bertingkat yang digunakan diantaranya adalah Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE) dan *Staggered Truss Frame* (STF).

Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE) merupakan suatu sistem struktur rangka baja tahan gempa yang mempunyai kekakuan elastik yang sangat baik (*excellent elastic stiffness*) dibawah pembebanan lateral, mempunyai daktilitas yang bagus (*good ductility*) dibawah beban gempa besar, kemampuan menyerap energi dan konsisten tanpa terjadi pengurangan kekakuan sampai sejumlah putaran (*cycle*) yang cukup tinggi (Engelhardt dan Popov, 1989;1992). SRPE juga menjadi pilihan dalam perencanaan arsitektural karena memiliki banyak celah untuk kebutuhan pintu dan jendela.

Staggered Truss Frame (STF) atau sistem rangka selang – seling merupakan suatu sistem struktur baja penahan gempa yang dikembangkan oleh *Massachusetts Institute Of Technology* (MIT) pada tahun 1960-an. Sistem ini terdiri dari rangkaian rangka batang (*truss*) dan diatur dalam pola selang-seling pada seluruh struktur gedung. Sistem struktur ini telah dipakai dalam modifikasi perencanaan apartemen Purimas Surabaya terdahulu, sehingga profil struktur utama telah diketahui untuk dijadikan bahan perbandingan.

Pada studi perencanaan dan perbandingan ini akan dilakukan modifikasi pada struktur gedung apartemen Purimas Surabaya. Gedung yang sebelumnya dimodifikasi dengan menggunakan sistem struktur *Staggered Truss Frame* (STF) pada tugas akhir “Studi Perilaku *Staggered Truss Framing Systems* pada Gedung Apartemen Purimas Surabaya”, akan direncanakan dengan menggunakan sistem rangka pengaku eksentris (SRPE). Hal ini dilakukan untuk mengetahui jumlah berat struktur utama dan pengaku, sehingga dapat mengetahui struktur yang lebih ringan antara kedua sistem tersebut.

Tujuan dari tugas akhir ini adalah merencanakan struktur bangunan baja dengan sistem Sistem Rangka Pengaku Eksentris

(SRPE) meliputi perencanaan struktur utama, sekunder, dan pengaku yang sesuai dengan pembebanan bangunan tahan gempa. Adanya perencanaan sistem struktur Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE) kemudian dibandingkan dengan sistem struktur *Staggered Truss Frame* (STF) dari hasil penelitian sebelumnya maka didapat berat total struktur utama apartemen Purimas Surabaya yang paling minimum.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang dibahas dalam penulisan tugas akhir ini akan dijelaskan pada permasalahan utama dan detail permasalahan sebagai berikut :

1.2.1 Permasalahan Utama

Bagaimana modifikasi perencanaan SRPE dan perbandingan berat struktur utamanya dengan sistem STF pada struktur gedung apartemen Purimas Surabaya ?

1.2.2 Detail Permasalahan

1. Bagaimana pembebanan yang bekerja pada struktur ?
2. Bagaimana merencanakan struktur sekunder yang meliputi pelat lantai, tangga, dan balok lift ?
3. Bagaimana melakukan permodelan struktur pada gedung dengan SRPE menggunakan bantuan program analisa struktur ?
4. Bagaimana perencanaan struktur utama, pengaku, dan *link* pada SRPE ?
5. Bagaimana perencanaan sambungan pada struktur dengan SRPE ?
6. Bagaimana perbandingan berat material baja pada struktur utama dan pengaku antara SRPE dengan STF yang paling minimum ?
7. Bagaimana merencanakan pondasi sesuai dengan beban yang dipikul struktur ?
8. Bagaimana menuangkan hasil perencanaan gedung dengan SRPE dalam bentuk gambar teknik ?.

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan yang didapat dalam penulisan tugas akhir ini akan dijelaskan pada tujuan umum dan detail tujuan sebagai berikut :

1.3.1 Tujuan Utama

Mendapatkan hasil modifikasi perencanaan SRPE (Sistem Rangka Pengaku Eksentris) dan perbandingan struktur utamanya dengan sistem STF untuk mendapatkan berat paling minimum pada struktur gedung apartemen Purimas Surabaya.

1.3.2 Detail Tujuan

1. Dapat menentukan pembebanan yang bekerja pada struktur.
2. Dapat merencanakan struktur sekunder yang meliputi pelat lantai, tangga, dan balok lift.
3. Dapat memodelkan struktur pada gedung dengan SRPE menggunakan bantuan program analisa struktur.
4. Dapat merencanakan struktur utama, pengaku, dan *link* pada SRPE.
5. Dapat merencanakan sambungan pada struktur dengan SRPE.
6. Dapat mengetahui perbandingan berat material baja pada struktur utama dan pengaku antara SRPE dengan STF yang paling minimum.
7. Dapat merencanakan pondasi sesuai dengan beban yang dipikul struktur.
8. Dapat menuangkan hasil perencanaan gedung dengan SRPE dalam bentuk gambar teknik.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari terlalu luasnya cakupan yang dibahas pada perumusan masalah diatas maka diperlukan pembatasan masalah pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Struktur gedung yang ditinjau adalah bangunan apartemen Purimas Surabaya.

2. Perbandingan antara SRPE dengan STF hanya meninjau berat total struktur utama dan pengaku.
3. Tidak merencanakan analisa biaya proyek.
4. Tidak membahas detail metode pelaksanaan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir modifikasi perencanaan dan perbandingan ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai bahan masukan dan pertimbangan terhadap dunia teknik sipil dalam perencanaan gedung baja menggunakan SRPE.
2. Sebagai alternatif pilihan sistem struktur bangunan tahan gempa yang cepat dan ringan sehingga dapat mempermudah proses konstruksi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

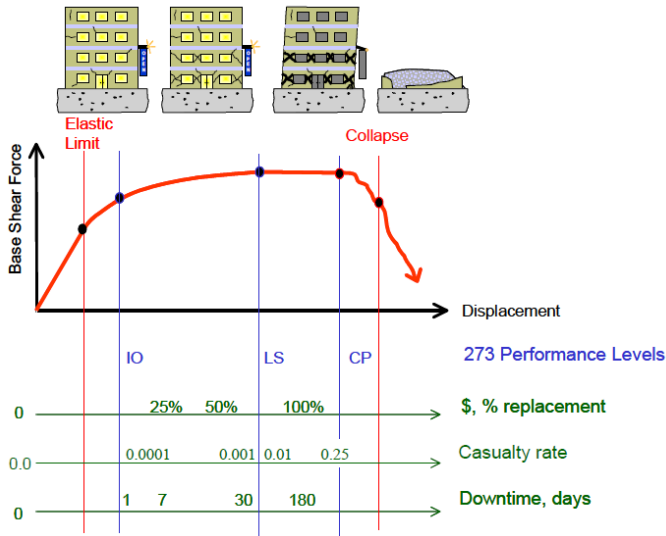
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Beban gempa yang akan ditanggung oleh struktur atau elemen struktur tidak selalu dapat diramalkan dengan tepat sebelumnya, maka dalam tahap perencanaan, seorang perencana dituntut untuk dapat memahami perancangan struktur tahan gempa dalam mendesain bangunan. Menurut Mc. Cormak (1995), hal yang perlu diperhatikan adalah kekuatan bangunan yang memadai untuk memberikan kenyamanan bagi penghuninya terutama lantai atas. Sebab semakin tinggi bangunan, defleksi lateral yang terjadi juga semakin besar pada lantai atas.

Menurut FEMA 273 (1997), kriteria-kriteria struktur tahan gempa seperti yang dijelaskan dalam gambar 2.1 adalah sebagai berikut :

- a. Immediate Occupancy (IO)
Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan struktural dan tidak mengalami kerusakan non struktural sehingga dapat langsung dipakai.
- b. Life Safety (LS)
Struktur gedung harus mampu menahan gempa sedang tanpa kerusakan struktur, walaupun ada kerusakan pada elemen non struktur.
- c. Collapse Prevention (CP)
Struktur harus mampu menahan gempa besar tanpa terjadi keruntuhan struktural walaupun struktur telah mengalami rusak berat, artinya kerusakan struktur boleh terjadi tetapi harus dihindari adanya korban jiwa manusia.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja
(Sumber : ATC 58,1990)

Menurut Daniel L. Schodek (1999), apabila dikenakan beban pada struktur stabil, struktur tersebut akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) yang lebih kecil dibandingkan struktur yang tidak stabil. Hal ini disebabkan karena pada struktur yang stabil terdapat kekuatan dan kestabilan dalam menahan beban. Menurut Daniel L. Schodek (1999), terdapat beberapa cara untuk menjamin kestabilan struktur, yaitu :

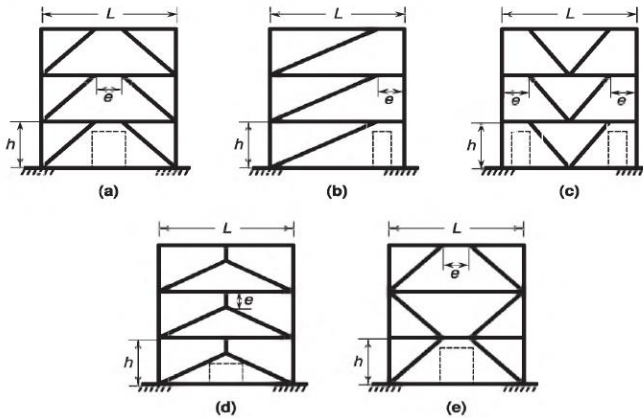
- Cara pertama dengan menambahkan elemen struktur diagonal pada struktur, sehingga struktur tidak mengalami deformasi menjadi jajaran genjang
- Cara kedua adalah dengan menggunakan dinding geser
- Cara ketiga adalah dengan mengubah hubungan antara elemen struktur sedemikian rupa sehingga terbentuk perubahan sudut untuk suatu kondisi pembebanan tertentu.

2.2 Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE)

2.2.1 Konsep Dasar SRPE

Sistem struktur SRPE merupakan struktur baja penahan gaya lateral yang merupakan gabungan antara konsep daktilitas dan disipasi energi yang baik dari desain *Moment-Resisting Frames* (MRF) dengan karakteristik kekakuan elastik yang tinggi dari desain *Concentrically Braced Frames* (CBF). SRPE memiliki elastisitas tinggi, respons inelastis stabil pada muatan lateral siklis, daktilitas dan kapasitas disipasi energi yang besar (*Bruneau, 1998*).

Konsep utama dalam struktur EBF (SRPE) adalah elemen *link* ditetapkan sebagai bagian yang akan rusak sedangkan elemen lain diharapkan tetap berada dalam kondisi elastik. Kelehan yang terjadi pada elemen *link* dapat berupa kelelahan geser atau kelelahan lentur. Tipe kelelahan ini sangat tergantung pada panjang *link* (*Engelhardt dan Popov 1989; 1992*). *Link beam* (e) yang ditunjukkan pada gambar 2.2 merupakan elemen struktur yang direncanakan untuk berperilaku inelastis serta mampu untuk berdeformasi plastis yang besar pada saat terjadi beban lateral. Pada sistem struktur SRPE, kekakuan lateral merupakan fungsi dari perbandingan antara panjang *link* (e) dengan panjang elemen balok (L). Jika panjang elemen *link* lebih pendek, maka struktur portal menjadi lebih kaku mendekati kekakuan struktur CBF dan jika panjang *link* lebih panjang, maka kekakuan struktur portal SRPE mendekati kekakuan struktur *Momen Resisting Frames* (MRF). Pada struktur SRPE, elemen struktur diluar *link* direncanakan untuk berperilaku elastis sedangkan bagian *link* direncanakan untuk dapat berdeformasi inelastis pada saat terjadi beban lateral (gempa). Terdapat berbagai macam bentuk SRPE seperti pada gambar 2.2. Dari segi arsitektural, SRPE juga lebih mampu menyediakan ruang bebas untuk pintu jika dibandingkan dengan *Concentrically Braced Frames* (CBF).



Gambar 2. 2 Tipe Konfigurasi SRPE
(Sumber : Bruneau,1998)

2.2.2 Perencanaan *Link*

2.2.2.1 Kuat Elemen *Link*

Gaya yang terjadi pada *Gambar 2.3* menunjukkan *free-body diagram* dari sebuah *link*. Dengan mengabaikan gaya aksial yang terjadi dan interaksi antara momen dan geser pada *link*, kedua momen tumpuan M_a dan M_b telah mencapai keadaan plastis, M_p . Gaya geser pada tumpuan juga dalam keadaan plastis, V_p . Momen plastis dan kapasitas geser pada *link* tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$M_p = Z_x \cdot f_y \quad (2.1)$$

$$V_p = \tau_y A_{lw} \quad (2.2)$$

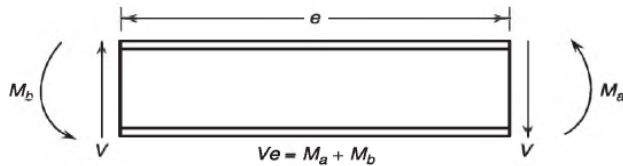
Keterangan:

M_p = Momen plastis penampang

Z_x = Modulus plastis penampang

f_y = Tegangan leleh penampang

$$\begin{aligned}\tau_y &= 0,6F_y \text{ (AISC 2010) ; } 0,55F_y \text{ (CSA 2009)} \\ A_{lw} &= (d-2t_f).t_w \text{ , untuk bentuk -I} \\ &= 2(d-2t_f).t_w \text{ , untuk bentuk penampang boks} \\ V_p &= \text{Gaya geser plastis penampang} \\ d &= \text{Tinggi penampang} \\ t_f &= \text{Tebal flens} \\ t_w &= \text{Tebal web}\end{aligned}$$



Gambar 2. 3 Free body Diagram dan gaya pada Link
(Sumber: Bruneau,1998)

Dalam perencanaan *link*, kekuatan rencana link harus lebih besar atau sama dengan gaya-gaya yang bekerja meliputi gaya momen dan geser, seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.3)$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.4)$$

Keterangan:

M_n = Momen lentur nominal *link*

M_u = Momen lentur perlu

V_n = Kuat geser nominal *link*, diambil yang terkecil diantara V_p atau $2M_p/e$

V_u = Kuat lentur perlu

ϕ_v = faktor reduksi geser =0,9

ϕ = faktor reduksi lentur =0,9

2.2.2.2 Panjang Elemen *Link*

Link bekerja sebagai sekering gempa yang bersifat daktail, menyerap energi gempa yang masuk kedalam bangunan. Panjang dari elemen *link* akan menentukan mekanisme leleh dan kegagalan *ultimate* yang terjadi pada elemen *link*. Secara umum terdapat 2 jenis *link* berdasarkan panjang *link*nya, yaitu *link* geser (*short link*) dan *link* lentur (*long link*). *Link* geser mengalami leleh disebabkan oleh gaya geser sedangkan *link* lentur mengalami leleh karena momen lentur. Panjang dari elemen *link* merupakan faktor penting untuk menentukan perilaku inelastik elemen *link*, panjang *link* berfungsi untuk mengontrol mekanisme leleh yang terjadi pada *link*. Pada *link* geser, gaya geser yang mencapai keadaan plastis (V_p) terlebih dahulu sebelum momen lentur mencapai kapasitas momen plastisnya dan *link* mengalami leleh dalam geser. Sebaliknya, pada *link* lentur, momen plastis (M_p) tercapai terlebih dahulu sebelum kelelahan geser terjadi. Ketentuan mengenai panjang *link* (e) adalah sebagai berikut :

$$\text{Link geser} \quad : e \leq \frac{1,6M_p}{V_p} \quad (2.5)$$

$$\text{Link medium} \quad : \frac{1,6M_p}{V_p} \leq e \leq \frac{2,6M_p}{V_p} \quad (2.6)$$

$$\text{Link lentur} \quad : e \geq \frac{2,6M_p}{V_p} \quad (2.7)$$

Pada *link* geser, gaya geser yang terjadi konstan disepanjang *link* dan regangan geser inelastik terdistribusi merata sepanjang *link*. Hal ini mengakibatkan terjadinya pengembangan deformasi inelastis yang besar pada *link*. Pada *link* lentur, kelelahan lentur mendominasi respons struktur tersebut terhadap beban yang bekerja pada struktur, termasuk beban gempa dan regangan lentur yang sangat tinggi dibutuhkan pada bagian ujung-ujung *link* untuk menghasilkan deformasi inelastik pada *link* lentur.

2.2.2.3 Sudut Rotasi Link

AISC 2005 mendefinisikan sudut rotasi link (link rotation angle) adalah sudut inelastik diantara link dan balok diluar link ketika total drift (simpangan) tingkat sama dengan simpangan tingkat desain. Sudut rotasi link tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut:

- 0,08 radian untuk panjang *link* $e \leq 1,6M_p/V_p$
- 0,02 radian untuk panjang *link* $e \geq 2,6M_p/V_p$
- Interpolasi linier antara 0,08-0,02 radian jika panjang *link* $1,6M_p/V_p \leq e \leq 2,6M_p/V_p$

Secara umum, sudut rotasi link beam dapat menggunakan persamaan :

$$\gamma_p = \frac{L}{e} \theta_p \quad (2.8)$$

Keterangan:

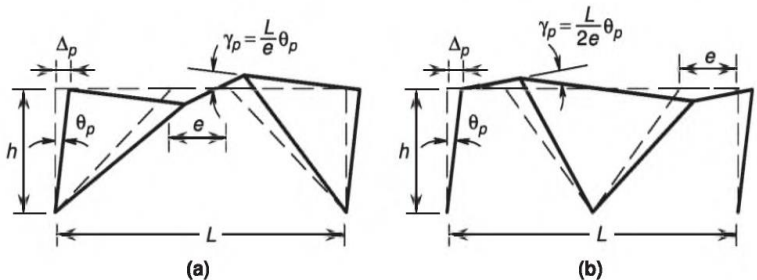
L = Lebar bentang

h = Tinggi lantai

Δ_p = Plastic story drift

Θ_p = Plastic story drift angle, radians (Δ_p/h)

γ_p = Sudut rotasi link beam



Gambar 2. 4 Sudut Rotasi Link Beam

(Sumber: Bruneau, 1998)

2.2.2.4 Pengaku Link

Pengaku setinggi badan penuh diperlukan pada sisi-sisi ujung link agar bisa mentransfer gaya geser sebaik mungkin tanpa terjadi tekuk badan. Untuk link yang berperilaku sebagai link geser/ pendek, jarak maksimum pengaku badan bagian tengah sangat tergantung pada besaran sudut rotasi link. Semakin besar sudut rotasi link maka akan semakin rapat pengakunya. Pengaku badan bagian tengah pada link geser ini berfungsi untuk memperlambat terjadinya tekuk geser inelastik pada badan. Sedangkan untuk link yang berperilaku sebagai link lentur/panjang, pengaku badan bagian tengah berfungsi untuk membatasi penurunan kekuatan yang disebabkan tekuk lokal pelat sayap (flange local buckling) dan tekuk lateral torsi.

Tabel 2. 1 Klasifikasi jarak pengaku badan

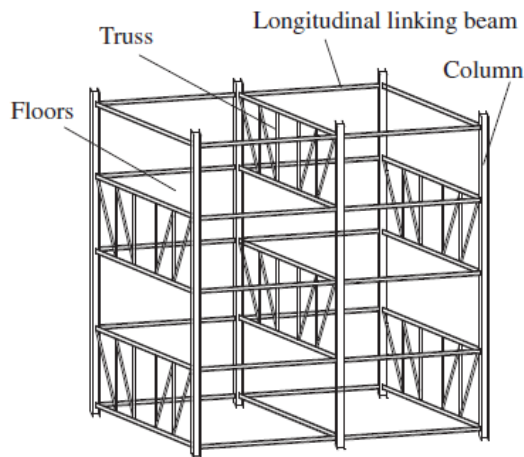
No	Panjang link	Jenis Link	Rotasi	Jarak Pengaku
				Maksimum
1	$e \leq \frac{1,6 \times Mp}{V_p}$	Geser	0,08	30.tw - d/5
		Murni	< 0,02	52.tw - d/5
2	$\frac{1,6 \times Mp}{V_p} \leq e \leq \frac{2,6 \times Mp}{V_p}$	Dominan Geser		1 dan 3 dipenuhi
3	$\frac{2,6 \times Mp}{V_p} \leq e \leq \frac{5 \times Mp}{V_p}$	Dominan Lentur	0,02	1,5 bf dari tiap ujung link
4	$e > \frac{5 \times Mp}{V_p}$	Lentur Murni		Tidak memerlukan

(Sumber: Chao H.S. & Goel C.S, 2006)

2.3 Staggered Truss Framing (STF)

Sistem *Staggered Truss Framing* (STF) atau kerangka batang tersusun secara berselang-seling awalnya dikembangkan oleh Massachusetts Institute Of Technology (MIT). Sistem ini

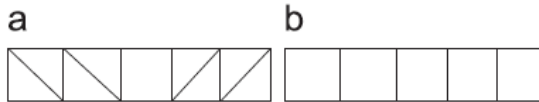
umumnya digunakan untuk bangunan *high-rise building* seperti hotel, apartemen, rumah susun, bangunan perkantoran, dan rumah sakit (Taranath, 1998). STF lebih cocok diaplikasikan pada daerah zona gempa rendah dengan bangunan gedung yang memiliki 5 sampai 40 lantai. Sistem ini merupakan penggabungan elemen rangka dan slab beton pracetak yang diberi gaya prategang yang diposisikan sepanjang arah melintang bangunan (transversal). *Gambar 2.4* menunjukkan bahwa STF terdiri dari rangkaian rangka batang (truss) bentang panjang dengan lebar total sejarak antara 2 baris kolom eksterior dan disusun dengan konfigurari berselingan pada kolom.



Gambar 2. 5 Staggered Truss Framing Systems
(Sumber : Zhou dkk, 2008)

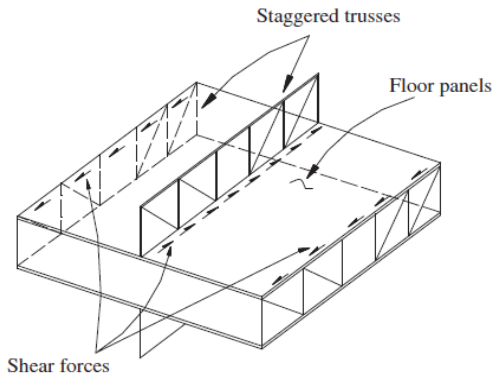
Rangkaian STF terdapat 2 tipe yaitu *Pratt Truss* dan *Vierendeel Truss* dapat dilihat pada **Gambar 2.5** *Pratt Truss* atau biasa disebut *Hybrid Truss* (**Gambar 2.5.a**) adalah susunan rangka batang diagonal dan merupakan tipe yang paling efisien pada STF. *Vierendeel Truss* atau biasa disebut *Open-Web Truss* (**Gambar 2.5.b**) adalah susunan rangka batang yang memang didesain

dengan panel terbuka. Tipe ini juga merupakan tipe yang efisien yang berlaku pada sistem STF. Pada bagian STF yang tidak terdapat *truss* (*Vierendeel Truss Panel*) bisa dimanfaatkan sebagai koridor atau lorong yang sangat cocok diaplikasikan pada bangunan apartemen atau rumah susun.



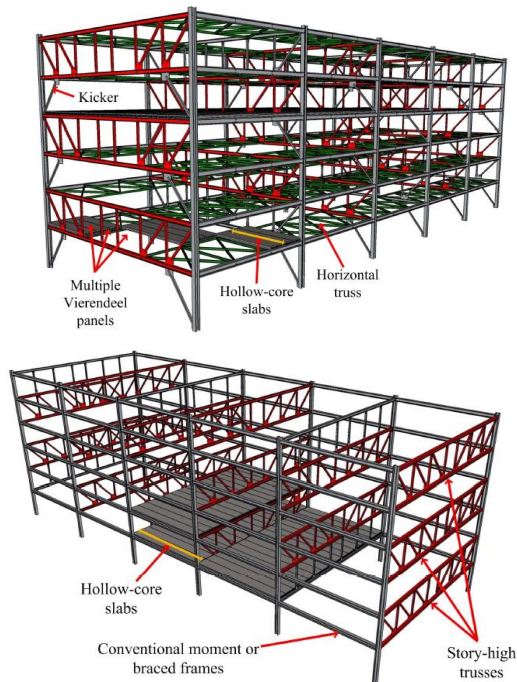
Gambar 2. 6 Tipe Staggered Truss Frames
(Sumber : Zhou dkk,2008)

Slab beton *precast Hollow-core* terikat pada bagian dasar rangkaian *truss* yang berposisi di atas dan bagian atas rangkaian *truss* yang berposisi di bawah. Gaya geser yang diterima slab beton diakibatkan oleh beban horizontal ditransfer ke rangkaian STF di atas dan ke rangkaian STF di bawah slab beton seperti pada *Gambar 2.6* . Kombinasi dari kolom, balok penghubung melintang, dan pengaku dapat memikul beban horizontal secara efektif.



Gambar 2. 7 Arah beban lateral pada STF
(Sumber : Zhou dkk, 2008)

Pada lantai dasar dan lantai teratas di arah transversal bangunan yang tidak terdapat STF, diisi dengan *Hanger Truss* (*Vertical Truss*) yang berfungsi sebagai kolom. Lantai paling dasar merupakan ruang bebas kolom yang hanya dipikul *Braces Frames* biasa, STF hanya diberlakukan pada lantai 1 ke atas saja. Hal menarik yang perlu diperhatikan dari sistem ini adalah sumbu lemah kolom berada di arah melintang bangunan (transversal) dan sumbu kuat kolom berada di arah memanjang bangunan (longitudinal). Penjelasan elemen-elemen penyusun STF secara umum dapat dilihat pada *Gambar 2.7*.



Gambar 2. 8 Bagian – bagian STF secara umum
(Sumber : Simasathien dkk, 2004)

2.4 Analisa Pembebanan

Pada subbab ini akan dibahas mengenai rincian pembebanan yang terjadi pada struktur gedung apartemen Purimas Surabaya. Literatur yang dipakai dalam analisa pembebanan adalah SNI 1727:2013 (beban hidup dan angin), PPIUG 1983 (beban mati), dan SNI 1726:2012 (beban gempa).

2.4.1 Beban Mati

Beban mati yang direncanakan pada struktur gedung apartemen Purimas Surabaya berdasarkan PPIUG 1983 adalah sebagai berikut :

Baja	: 7850 kg/m ³
Dinding citicon (brosur)	: 600 kg/m ³
Plafond	: 11 kg/m ²
Penggantung plafond	: 7 kg/m ²
Berat volume AC dan perpipaan	: 25 kg/m ²
Keramik	: 24 kg/m ²
Lapisan kedap air	: 14 kg/m ²

2.4.2 Beban Hidup

Beban hidup yang direncanakan pada struktur gedung apartemen Purimas Surabaya adalah berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 4 Tabel 4-1. Beban hidup terdistribusi merata minimum yang terjadi adalah sebagai berikut :

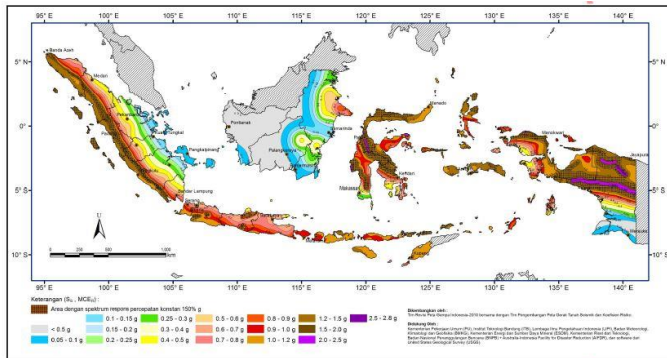
- Atap datar, berbubung, dan lengkung sebesar 0,96 kN/m²
- Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka sebesar 1,92 kN/m²

2.4.3 Beban Gempa

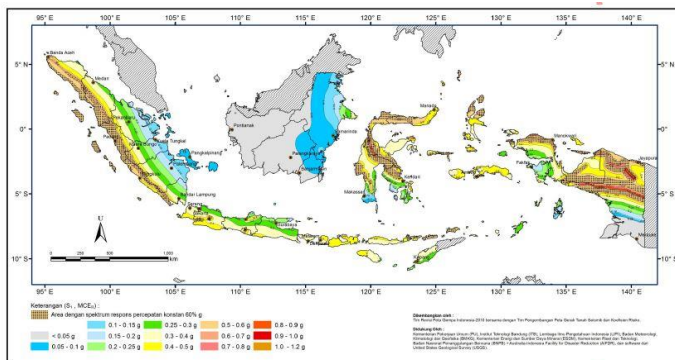
Gempa rencana ditetapkan mempunyai periode ulang 2500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 2% selama umur gedung 50 tahun. Langkah-langkah membuat respon spektrum desain adalah sebagai berikut

1. Menentukan Ss dan S1

Menentukan Ss (diperoleh dari peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun dan $T = 0,2$ detik) dan S1 (diperoleh dari peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun dan $T = 1$ detik)



Gambar 2. 9 Peta Spektra 0,2 detik untuk periode ulang gempa 2500 tahun
(Sumber: SNI 03-1726-2012)



Gambar 2. 10 Peta spektra 1 detik untuk periode ulang gempa 2500 tahun
(Sumber: SNI 03-1726-2012)

2. Menentukan koefisien situs

Sesuai pasal 5.3, jenis tanah dikelompokkan menjadi 6 bagian, dengan pembagiannya berdasarkan besaran percepatan rambat gelombang geser rata-rata (\bar{V}_s), nilai hasil tes penetrasi standar rata-rata (N) dan kuat geser nilai rata-rata.

Tabel 2. 2 Klasifikasi situs

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa			

(Sumber: SNI 03-1726-2012)

Setelah jenis tanah ditentukan, dengan nilai S_s dan S_1 yang diperoleh dilangkah awal maka f_a dan f_v akan diperoleh melalui tabel 2.2 dan 2.3.

Tabel 2. 3 Koefisien situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

(Sumber: SNI 03-1729-2012)

Tabel 2. 4 Koefisien *situs Fv*

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

(Sumber: SNI 03-1729-2012)

3. Menghitung S_{MS} dan S_{M1}

S_{MS} dan S_{M1} (parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.9)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.10)$$

4. Menghitung parameter percepatan desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode 1 detik S_{D1} harus ditentukan melalui persamaan berikut:

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \quad (2.11)$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} \quad (2.12)$$

5. Menentukan Periode Fundamental Struktur

T tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari tabel 2.5 dan periode fundamental pendekatan (T_a)

Tabel 2. 5 Koefisien untuk batas atas perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_s
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 03-1729-2012)

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (2.13)$$

Keterangan :

h_n = ketinggian struktur di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

C_t dan x adalah koefisien yang didapatkan pada tabel 2.6

Tabel 2. 6 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(Sumber: SNI 03-1729-2012)

6. Spektrum respons desain

Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain S_a harus diambil dari persamaan

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.14)$$

Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS}

- Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain S_a , diambil berdasarkan persamaan

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.15)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.16)$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.17)$$

- Sesuai pasal 4.1.2, menentukan kategori resiko struktur bangunan gedung atau non gedung. Pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan faktor keutamaan

7. Kategori risiko dan faktor keutamaan gempa

Tabel 2. 7 Kategori Risiko Bangunan

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

(Sumber: SNI 03-1726-2012)

Tabel 2. 8 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 03-1726-2012)

8. Kategori desain gempa

Sesuai pasal 6.5 SNI 03-1729-2012, struktur harus memiliki suatu kategori desain seismik

Tabel 2. 9 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 03-1726-2012)

Tabel 2. 10 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 03-1726-2012)

Tabel 2. 11 Koefisien Modifikasi Respons

B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¼	2	3¼	TB	TB	10 ⁱ	10 ⁱ	10 ⁱ
4. Dinding geser beton bertulang khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI

(Sumber: SNI 03-1726-2012)

9. Gaya geser dasar gempa dan beban lateral gempa
 Sesuai pasal 7.8, gaya geser seismik V dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan persamaan berikut

$$V = C_s \cdot W \quad (2.18)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat struktur

Koefisien respons seismik, C_s harus ditentukan dengan persamaan berikut

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.19)$$

Nilai C_s yang dihitung diatas tidak boleh melebihi:

$$C_s = \frac{SDS}{\left(T \times \frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.20)$$

Cs harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot SDS \cdot I_e \geq 1 \quad (2.21)$$

Untuk struktur yang berlokasi di S1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka Cs harus tidak kurang dari

$$C_s = \frac{0,5 \cdot SD1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.22)$$

Keterangan:

C_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

C_{D1} = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode 1 detik

S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang ditetapkan

T = periode struktur dasar (detik)

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan hunian

Sesuai pasal 7.8.3 gaya gempa lateral yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2.23)$$

$$\text{dan} \quad C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k} \quad (2.24)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total

W_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = periode struktur dasar (detik)

R = tinggi dari dasar sampai tingkat I atau x

K = eksponen yang terkait dengan perioda struktur

Sesuai pasal 7.8.4 gaya tingkat desain gempa di semua tingkat harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.25)$$

F_i = bagian dari gaya geser dasar seismik yang timbul di tingkat i

2.4.4 Kombinasi Pembebanan

Struktur, komponen, dan fondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi berikut (SNI 1727:2013 pasal 3.2.2) :

1,4D

1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r atau S atau R)

1,2D + 1,6(L_r atau S atau R) + (L atau 0,5W)

1,2D + 1,0 W + L + 0,5(L_r atau S atau R)

1,2D + 1,0E + L + 0,2S

0,9D + 1,0W

0,9D + 1,0E

keterangan :

D = beban mati

L = beban hidup

L_r = beban hidup atap

S = beban salju

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

2.5 Perencanaan Elemen Struktur

2.5.1 Elemen Struktur yang Menerima Gaya Aksial

Dalam perencanaan struktur yang menerima gaya aksial ini akan dibahas mengenai struktur kolom (komposit terisi beton) berdasarkan SNI 1729:2015 pasal I2.2a. Berikut adalah hal – hal yang diperhatikan dalam perencanaan kolom komposit terisi beton.

2.5.1.1 Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan yang tersedia dari komponen struktur komposit terisi beton simetris ganda yang dibebani secara aksial harus ditentukan untuk keadaan batas tekuk lentur berdasarkan kelangsingan komponen struktur SNI 1729:2015 pasal I2.1b sebagai berikut :

$$P_u = \phi_c P_n \quad (2.26)$$

Keterangan : $\phi_c = 0,75$

- Untuk Penampang kompak

$$P_{no} = P_p \quad (2.27)$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f'_c \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right) \quad (2.28)$$

Keterangan :

$C_2 = 0,85$ untuk penampang persegi dan $0,95$ untuk penampang bundar

- Untuk Penampang nonkompak

$$P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (\lambda - \lambda_p)^2 \quad (2.29)$$

Keterangan :

λ , λ_p , dan λ_r adalah rasio kelangsingan, dengan nilai seperti tabel 2.7 berikut.

Tabel 2. 12 Rasio kelangsingan untuk elemen baja tekan struktur komposit

Deskripsi Elemen	Rasio Lebar-terhadap-Ketebalan	λ_p Kompak / Nonkompak	λ_r Nonkompak / Langsing	Maksimum yang diizinkan
Dinding dari PSB Persegi dan Boks dengan Ketebalan Sama	b/t	$2,26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
PSB Bundar	D/t	$\frac{0,15E}{F_y}$	$\frac{0,19E}{F_y}$	$\frac{0,3E}{F_y}$

(Sumber: SNI 1729:2015)

- Untuk Penampang Langsing

$$P_{no} = F_{cr}A_s + 0,7f'_c \left(A_c A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right) \quad (2.30)$$

Keterangan :

- Untuk penampang persegi diisi beton

$$F_{cr} = \frac{9E_s}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (2.31)$$

- Untuk penampang bundar diisi beton

$$F_{cr} = \frac{0,72F_y}{\left(\left(\frac{D}{t}\right)\frac{F_y}{E_s}\right)^{0,2}} \quad (2.32)$$

2.5.1.3 Kekuatan Tarik

Kekuatan Tarik yang tersedia dari komponen struktur komposit terisi beton yang dibebani secara aksial harus ditentukan untuk keadaan batas leleh sebagai berikut :

$$P_n = A_s F_y + A_{sr} F_{ysr} \quad (2.33)$$

$$\phi_t = 0,90 \text{ (LRFD)}$$

2.5.2 Elemen Struktur yang Menerima Gaya Lentur

Sebuah balok yang memikul beban lentur murni terfaktor Mu harus direncanakan sedemikian rupa sehingga selalu terpenuhi hubungan:

$$Mu \leq \phi Mn \quad (2.34)$$

Dimana:

Mu = momen lentur terfaktor

Φ = faktor reduksi = 0,9

Mn = kuat nominal dari momen lentur penampang

2.5.2.1 Kontrol Penampang

Penampang kompak, tak kompak, dan langsing yang memikul lentur ditentukan berdasarkan kontrol penampang berikut.

- Pelat Badan

- Penampang Kompak

$$\lambda = \frac{h}{tw} \leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{fy}} \quad (2.35)$$

- Penampang Tak Kompak

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{fy}} \leq \lambda = \frac{h}{tw} \leq \lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{fy}} \quad (2.36)$$

- Penampang Langsing

$$\lambda = \frac{h}{tw} > \lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{fy}} \quad (2.37)$$

- Pelat Sayap

- Penampang Kompak

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} \leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{fy}} \quad (2.38)$$

- Penampang Tak Kompak

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{fy}} \leq \lambda = \frac{bf}{2tf} \leq \lambda_r \quad (2.39)$$

$$= \frac{370}{\sqrt{fy - fr}}$$

- Penampang Langsing

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} > \lambda_r = \frac{370}{\sqrt{fy - fr}} \quad (2.40)$$

Keterangan :

bf = lebar sayap

tf = tebal sayap

h = tinggi profil

tw = tebal pelat badan

fy = kuat leleh profil baja

fr = tegangan tekan residual pada plat sayap

2.5.2.2 Kuat Lentur

Berdasarkan SNI 1729:2015 pasal I3.3 dan pasal F2, kekuatan lentur tersedia dari komponen struktur terbungkus beton harus merupakan nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan *keadaan batas dari leleh (momen plastis) dan tekuk torsi-lateral*:

1. Pelelehan

Momen dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (2.41)$$

Keterangan : F_y = tegangan leleh minimum yang disyaratkan dari tipe baja yang digunakan, MPa

Z_x = modulus penampang elastis di sumbu x, mm³

2. Tekuk Torsi-Lateral

Kuat komponen struktur dalam memikul momen lentur tergantung dari panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan, L . batas-batas bentang pengekang lateral :

Tabel 2. 13 Batas – Batas Pengekang Lateral

Profil	L_p	L_r
Profil I dan kanal ganda	$1,76r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ dengan $r_y \sqrt{\frac{I_y}{A}}$ adalah jari-jari girasi terhadap sumbu lemah	$r_y \left[\frac{X_1}{f_L} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}}$ dengan $f_L = f_y - f_r$ $X_1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{E G J A}{2}}$ $X_2 = 4 \left(\frac{S}{G J} \right)^2 \frac{I_w}{I_y}$ I_w adalah konstanta puntir lengkung

		J adalah konstanta puntir torsi
Profil kotak pejal atau berongga	$0,13E r_y \frac{\sqrt{JA}}{M_p}$	$2E r_y \frac{\sqrt{JA}}{M_r}$

(Sumber: SNI 1729:2015)

- Bila $L_b \leq L_p$, keadaan batas dari tekuk torsi lateral tidak boleh digunakan
- Bila $L_p < L_b < L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (2.42)$$

$$C_b = \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (2.43)$$

- Bila $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (2.44)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \quad (2.45)$$

Keterangan :

M_{maks} = nilai mutlak momen maksimum dalam segmen tanpa dibreising, N-mm

M_A = nilai mutlak momen pada titik seperempat dari segmen tanpa dibreising, N-mm

M_B = nilai mutlak momen pada sumbu segmen tanpa dibreising, N-mm

M_C = nilai mutlak momen pada titik tiga-perempat dari segmen tanpa dibreising, N-mm

L_b = panjang antara titik-titik, baik yang dibreising melawan perpindahan lateral sayap tekan atau dibreising melawan puntir penampang melintang, mm

E = modulus elastisitas baja = 200000 MPa

J = konstanta torsi, mm⁴

S_x = modulus penampang elastis di sumbu x, mm³

h_o = jarak antar titik berat sayap, mm

r_{ts} = radius girasi dari sayap tekan ditambah seperenam dari badan

2.5.3 Amplifikasi Momen

Kekuatan lentur orde pertama yang diperlukan, M_r , dan ketentuan aksial P_r , dari semua komponen struktur harus ditentukan sebagai berikut

$$M_r = B_1 M_{ni} + B_2 M_i \quad (2.46)$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_t \quad (2.47)$$

Keterangan:

B_1 = Pengali untuk menghilangkan efek $P-\delta$, ditentukan untuk setiap komponen struktur yang menahan tekan dan lentur.

B_2 = Pengali untuk menghilangkan efek $P-\delta$, ditentukan untuk setiap tingkat dari struktur

M_{1t} = Momen orde pertama menggunakan kombinasi beban DFBK

M_{nt} = Momen orde pertama menggunakan kombinasi beban DFBK

M_r = Momen lentur orde kedua yang diperlukan menggunakan kombinasi beban DFBK

P_{1t} = Gaya aksial orde pertama menggunakan kombinasi beban DFBK

P_{nt} = Gaya aksial orde pertama menggunakan kombinasi beban DFBK

P_r = Kekuatan aksial orde kedua yang diperlukan menggunakan kombinasi beban DFBK

- Pengali B_1 untuk efek $P-\delta$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{e1}}} \geq 1 \quad (2.48)$$

Dengan,

$\alpha = 1$ (DFBK)

C_m = Koefisien dengan asumsi tanpa translasi lateral dari portal yang ditentukan dengan formula:

$$C_m = 0,6 - 0,4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (49)$$

Dengan M1 dan M2 dihitung dari analisis orde pertama, adalah momen terkecil dan terbesar pada ujung-ujung bagian komponen.

P_{el} = Kekuatan tekuk kritis elastis komponen struktur dalam bidang lentur, dihitung berdasarkan asumsi tanpa translasi pada ujung-ujung komponen struktur.

$$P_{el} = \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2} \quad (50)$$

Keterangan;

EI = kekakuan lentur yang diperlukan yang harus digunakan dalam analisis ($0,8\tau_c EI$) bila digunakan dalam metode analisis langsung dengan τ_c adalah seperti ditetapkan pada bab C SNI 03-1729-2015 untuk panjang efektif dan metode analisis orde pertama

E = Modulus elastisitas baja = 200000 Mpa

I = Momen inersia bidang lentur, mm⁴

L = Panjang komponen struktur, mm

K_1 = Faktor panjang efektif dalam bidang lentur, dihitung berdasarkan asumsi translasi lateral pada ujung-ujung komponen struktur

- Pengali B2 untuk efek $P-\delta$

$$B2 = \frac{1}{\left(1 - \frac{\alpha P_{story}}{P_{estory}}\right)} \quad (2.51)$$

Dengan,

$\alpha = 1$ (DFBK)

P_{story} = beban vertikal total didukung oleh tingkat menggunakan kombinasi beban DFBK yang sesuai, termasuk beban-beban dalam kolom-kolom yang bukan merupakan bagian dari sistem penahan gaya lateral.

$P_{e story}$ = Kekuatan tekuk kritis elastis untuk tingkat pada arah translasi yang diperhitungkan, ditentukan dengan analisis tekuk sidesway, atau dengan rumusan:

$$P_{e story} = RM \frac{HL}{\Delta H} \quad (2.52)$$

Dengan,

$$Rm = 1 - 0,15 \left(\frac{P_{mf}}{P_{story}} \right) \quad (2.53)$$

L = Tinggi tingkat, mm

P_{mf} = Beban vertikal total pada kolom dalam tingkat yang merupakan bagian dari portal momen

ΔH = Simpangan tingkat dalam orde pertama

H = Geser tingkat, dalam arah translasi harus diperhitungkan, dihasilkan oleh gaya-gaya lateral yang digunakan untuk menghitung ΔH , N.

2.5.4 Kombinasi Gaya Aksial dan Lentur

Interaksi antara lentur dan gaya aksial pada komponen struktur komposit harus memperhitungkan *stabilitas* seperti disyaratkan oleh SNI 1729:2015 pasal C. *Kekuatan tekan yang tersedia dan kekuatan lentur yang tersedia* harus ditentukan seperti dijelaskan dalam SNI 1729:2015 pasal I2 dan I3. Untuk menghitung pengaruh dari *efek panjang* pada kekuatan aksial komponen struktur, kekuatan aksial nominal komponen struktur harus ditentukan menurut SNI 1729:2015 pasal I2.

Untuk *komponen struktur komposit dibungkus beton* dan *komponen struktur komposit diisi beton dengan penampang kompak*, interaksi gaya aksial dan lentur harus berdasarkan

persamaan interaksi SNI 1729:2015 pasal H1.1 yang ditunjukkan pada persamaan 2.40 atau satu dari metode seperti dijelaskan SNI 1729:2015 pasal I1.2.

Untuk komponen struktur komposit diisi beton dengan penampang nonkompak atau penampang langsing, interaksi antara gaya aksial dan lentur harus berdasarkan persamaan 2.41 dibawah berdasarkan pada SNI 1729:2015 pasal H1.1.

- Bila $\frac{Pr}{P_c} \geq 0,2$, maka

$$\frac{Pr}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.54)$$

- Bila $\frac{Pr}{P_c} \leq 0,2$, maka

$$\frac{Pr}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.55)$$

Keterangan :

P_r = kekuatan aksial perlu menggunakan kombinasi beban, kips (N)

P_c = kekuatan aksial tersedia, kips (N)

M_r = kekuatan lentur perlu menggunakan kombinasi beban, kip-in (N-mm)

M_c = kekuatan lentur tersedia, kip-in (N-mm)

x = indeks sehubungan dengan sumbu kuat lentur

y = indeks sehubungan dengan sumbu lemah lentur

2.5.5 Elemen Struktur yang Menerima Gaya Geser

Kuat elemen struktur dalam memikul gaya geser yang terjadi dapat ditentukan berdasarkan kekuatan geser dengan syarat sebagai berikut :

$$V_u \leq \phi V_n \quad (2.56)$$

Keterangan :

V_u = kuat geser berfaktor

V_n = kuat geser nominal, hanya oleh plat badan

ϕ = faktor reduksi (0,9)

- Leleh pada Pelat badan (plastik sempurna)
Jika kelangsingan plat badan memenuhi hubungan:

$$\frac{h}{tw} \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_n E}{f_{yw}}} \quad (2.57)$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (2.58)$$

Maka kuat geser nominal pelat badan harus dihitung sebagai berikut:

$$V_n = 0,6 \times f_{yw} \times A_w \quad (2.59)$$

Keterangan :

F_{yw} = tegangan leleh plat badan

A_w = luas kotor plat badan

- Tekuk inelastik pada pelat badan
Jika kelangsingan plat badan memenuhi hubungan:

$$1,1 \sqrt{\frac{k_n E}{f_{yw}}} \leq \frac{h}{tw} \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_{yw}}} \quad (2.60)$$

Maka kuat geser nominal pelat badan harus dihitung sebagai berikut:

$$V_n = 0,6 \times f_{yw} \times A_w \left[1,1 \sqrt{\frac{k_n E}{f_{yw}}} \right] \frac{1}{h/t_w} \quad (2.61)$$

- Tekuk elastik pada pelat badan
Jika kelangsingan plat badan memenuhi hubungan:

$$\frac{h}{t_w} \geq 1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_{yw}}} \quad (2.62)$$

Maka kuat geser nominal pelat badan harus dihitung sebagai berikut:

$$V_n = \frac{0,9 \times E \times k_n \times A_w}{\left(\frac{h}{t_w} \right)^2} \quad (2.63)$$

2.6 Perencanaan Sambungan

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai perencanaan sambungan yang mengacu pada SNI 1729:2015 meliputi sambungan baut, dan las yang akan digunakan dalam perencanaan struktur gedung apartemen Purimas Surabaya.

2.6.1 Sambungan Baut

Perencanaan sambungan baut pada tugas akhir ini mengacu pada **SNI 1729:2015 pasal J.3** secara lengkap. Berdasarkan SNI tersebut, suatu baut yang memikul beban terfaktor harus memenuhi :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.64)$$

keterangan :

ϕ = faktor reduksi = 0.75

R_n = kekuatan nominal

Kekuatan sambungan baut dapat berdasarkan atas kekuatan geser atau kekuatan tumpu.

- Kekuatan geser nominal baut (V_n)

Kuat rencana :

$$V_d = \phi_f V_n \quad (2.65)$$

$$V_n = r_1 f_u^b A_b m \quad (2.66)$$

r_1 = 0,50 tanpa ulir pada bidang geser baut

= 0,40 ada ulir pada bidang geser baut

f_u^b = tegangan tarik putus baut

A_b = luas bruto penampang baut

m = jumlah bidang geser

- Kekuatan tumpu nominal baut (R_n)

Kuat rencana:

$$R_d = \phi_f R_n \quad (2.67)$$

$$R_n = 2,4 d_b t_p f_u \quad (2.68)$$

berlaku untuk semua jenis lubang baut

d_b = diameter nominal baut

t_p = tebal plat tertipis

f_u = tegangan tarik putus terkecil antara baut dan pelat

- Kekuatan baut memikul beban tarik (T_n)

Kuat rencana:

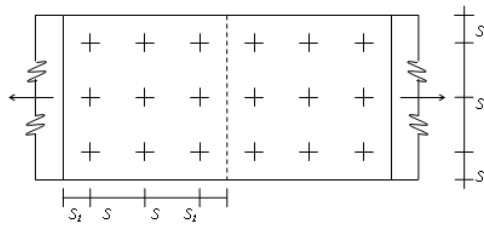
$$T_d = \varphi_f T_n \quad (2.69)$$

$$T_n = 0,75 f_u^b A_b \quad (2.70)$$

f_u^b = tegangan tarik putus baut

A_b = luasan bruto penampang baut

Ketentuan jarak baut, disamping ditentukan oleh kekuatan dan penyampaian beban pada sambungan juga ditentukan dari segi pelaksanaanya. Jarak baut dari as ke as, dan jarak baut ketepi pelat ditentukan pada peraturan bab 13.4.



Gambar 2. 11. Jarak pemasangan baut
(Sumber : Marwan & Isdarmanu, 2006)

$$3 d_b \leq S \leq 15 t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

d_b – diameter nominal baut

$$1,5 d_b \leq S_1 \leq (4 t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

t_p – tebal plat tertipis

$$4 \leq S_2 \leq 12 t_p \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

- Untuk tepi dipotong dengan tangan $1,75 d_b$
- Untuk tepi dipotong dengan mesin $1,50 d_b$
- Tepi propil bukan hasil potongan $1,25 d_b$

2.6.2 Sambungan Las

2.6.2.1 Las Tumpul

Las tumpul penetrasi penuh kekuatan rencana sama dengan kapasitas nominal bagian yang lebih lemah dikalikan faktor reduksi (ϕ). Jika bahan las mutunya \geq baja dasar, kekuatannya ditentukan oleh bahan dasar yang disambung.

2.6.2.2 Las Sudut

- Biasa dibuat dengan kaki yang sama
- Lintasan kritis keruntuhan las selalu mencari jarak yang minimal (t_e) tebal las efektif.

Luas Las = $l \cdot t_e$

Kekuatan nominal las sudut persatuan panjang :

Kuat Nominal Las :

$$R_n = 0,6 f_u t_e \quad (2.71)$$

Kuat Nominal Logam Dasar :

$$R_n = 0,6 f_u t \quad (2.72)$$

Kuat Sambungan :

$$R_u = \phi R_n \quad (2.73)$$

$$\phi = 0,75$$

Untuk Perencanaan

dimisalkan : $t_e = 1 \text{ cm}$

tebal efektif :

$$t_e = \frac{f_{total}}{\phi f n} \times 1 \text{ cm} \quad (2.74)$$

tebal kaki las :

$$a = \frac{t_e}{0,707} \quad (2.75)$$

2.6.2.3 Tebal Las Sudut Minimum/Maksimum

Ukuran minimum las sudut

Tabel 2. 14 Ukuran minimum las sudut

Tebal Pelat Paling Tebal (mm)	Tebal Minimum Las Sudut : t_w (mm) atau a
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t$	6

(Sumber : SNI 03-1729-2002)

Ukuran maksimum las sudut yang terbatas dengan ketebalan pelat tidak ada pembatasan dari tebal pelat, tapi harus memenuhi persyaratan kekuatan berimbang las dengan bahan dasar

Tebal las maksimum untuk kekuatan berimbang

- 2 kekuatan las = 1 kekuatan pelat (t_1)

$$\phi R_n (\text{las}) = \phi R_n (\text{logam dasar})$$

$$\phi \cdot 2 \cdot a \cdot 0,707 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} = \phi \cdot 0,6 \cdot f_u \cdot t_1$$

$$a_{efmax} = \frac{0,6 f_u t_1}{2 \cdot 0,707 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX}} \quad (2.76)$$

$$t_{wef} = 0,707 \cdot \frac{f_u}{F_{EXX}} \cdot t_1 \quad (2.77)$$

- 1 kekuatan las = 1 kekuatan pelat (t_2)

$$\phi \cdot a \cdot 0,707 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} = \phi \cdot 0,6 f_u \cdot t_2$$

$$a_{ef\ maks} = 1,41 \frac{fu}{F_{EXX}} \cdot t_2 \quad (2.78)$$

F_{EXX} – tegangan putus las

fu – tegangan putus pelat

2.6.2.4 Penyebaran Beban Sambungan Las

- Geser Sentris

$$f = \frac{P_u}{A} \dots\dots\dots A = (2b + d) t_e \quad (2.79)$$

$$f \leq \phi \cdot 0,6 \cdot f_u \quad (2.80)$$

$$\phi = 0,75$$

f_u : tegangan patah las

- Geser Puntir

$$f_{v_m} = \frac{M \cdot x}{Ip} \quad (2.81)$$

$$f_{H_m} = \frac{M \cdot y}{Ip} \quad (2.82)$$

$$f_{total} = \sqrt{(\sum f_v)^2 + (\sum f_H)^2} \quad (2.83)$$

$$f_{total} \leq \phi \cdot 0,6 \cdot f_u \quad (2.84)$$

$$\phi = 0,75$$

- Geser Lentur
Akibat geser sentris

$$f_{vp} = \frac{P_u}{A} \cdot \rightarrow A = \text{Luas Las} \quad (2.85)$$

Akibat momen lentur

$$f_{H_M} = \frac{M_u Y}{I_x} = \frac{M_u}{S} \quad (2.86)$$

$$f_{total} = \sqrt{(\sum f_v)^2 + (\sum f_H)^2} \quad (2.87)$$

$$f_{total} \leq \phi \cdot 0,6 \cdot f_u \quad (2.88)$$

$$\phi = 0,75$$

2.7 Perencanaan Pondasi

Pondasi merupakan struktur bagian bawah yang berhubungan langsung dengan tanah, dan merupakan konstruksi yang berfungsi menahan beban struktur di atasnya. Dalam perencanaan pondasi *bored pile* dengan metode *Mayerhoff* dibutuhkan data tanah yang didapat dari SPT (*Standard Penetration Test*). Langkah-langkah yang dikerjakan dalam perencanaan struktur pondasi tersebut adalah:

1. Menghitung beban total dari struktur atas
2. Mencari data tanah dan menghitung daya dukung tanah
3. Menghitung daya dukung ujung tiang
4. Menghitung daya dukung selimut tiang
5. Menghitung daya dukung ultimate pondasi 1 tiang
6. Menghitung daya dukung tiang pancang kelompok

2.7.1 Perhitungan Daya Dukung Ujung Tiang

Perhitungan daya dukung ujung tiang dapat menggunakan rumus berikut dengan berdasarkan pada perhitungan N-SPT.

$$Qb = Ab \times 38 \times N \times \frac{Lb}{d} < Ab \times 380 \times N \quad (2.89)$$

Keterangan :

Q_b = Daya dukung ultimate ujung tiang

A_b = Luas Penampang ujung tiang bor

N = Rata rata nilai N -SPT dari daerah antara $8D$ diatas ujung tiang dengan $4D$ dibawah ujung tiang

D = Diameter pondasi

L_b = Kedalaman penetrasi tiang pada lapisan ujung tanah keras

2.7.2 Perhitungan Daya Dukung Selimut Tiang

Perhitungan daya dukung selimut tiang didasarkan pada nilai SPT dan luas per lapisan tanah apabila tanah per lapisan memiliki sifat yang berbeda dengan rumus :

$$Q_s = (N_{spt1}A_{lapisan1}) + (N_{spt2}A_{lapisan2}) \quad (2.90) \\ + \dots + (N_{spt-n}A_{lapisan-n})$$

2.7.3 Perhitungan Daya Dukung *Ultimate* Tiang

Perhitungan daya dukung ultimate tiang didasarkan pada nilai daya dukung selimut(Q_s) dan daya dukung ujung(Q_b) dengan rumus :

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (2.91)$$

2.7.4 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Sebuah tiang yang merupakan bagian dari sebuah kelompok tiang, daya dukungnya mengalami modifikasi, karena pengaruh dari kelompok tiang tersebut. Untuk kasus daya dukung tiang pancang kelompok , harus dikoreksi terlebih dahulu dengan koefisien C_c seperti pada persamaan berikut:

$$Q_L(\text{group}) = Q_L(1 \text{ tiang}) \times n \times C_e \quad (2.92)$$

Keterangan:

- n = Jumlah tiang dalam grup
 C_e = Koefisien efisiensi
 $Q_L(\text{group})$ = Daya dukung tiang pancang kelompok
 $Q_L(1 \text{ tiang})$ = Daya dukung 1 tiang pancang

Untuk menghitung koefisien efisiensi C_e , digunakan cara *Converse – Labarre*:

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{\Phi}{S}\right)}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

Dimana:

- Φ = diameter tiang pondasi
 S = jarak as ke as antar tiang dalam grup
 m = jumlah baris tiang dalam grup
 n = jumlah kolom tiang dalam grup
 $C_e = 0,9 - 1,0$ (untuk jarak antar tiang pancang $\geq 3 \phi$)

Bila diatas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan oleh sebuah kepala tiang (poer) bekerja beban-beban vertikal (V), Horizontal (H), dan momen (M), maka besarnya beban vertikal ekuivalen (Pv) yang bekerja pada sebuah tiang adalah:

$$Pv = \frac{V}{n} \pm \frac{My \times x \max}{\Sigma x^2} \pm \frac{Mx \times y \max}{\Sigma y^2} \quad (2.93)$$

Keterangan:

- Pv = Beban vertikal ekivaken
 V = beban vertikal dari kolom
 n = banyaknya tiang dalam grup

M_x = Momen terhadap sumbu X

M_y = Momen terhadap sumbu y

x_{\max} = Absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang

y_{\max} = Ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang

Σx^2 = Jumlah kuadrat dari absis tiap tiang terhadap garis netral group

Σy^2 = Jumlah kuadrat ordinat tiap tiang terhadap garis netral group

Nilai x dan y positif jika arahnya sama dengan arah e, dan negatif bila berlawanan dengan arah e. Perhitungan jarak tiang ditentukan sebagai berikut:

$$2,5SD \leq S \leq 3D \quad (2.94)$$

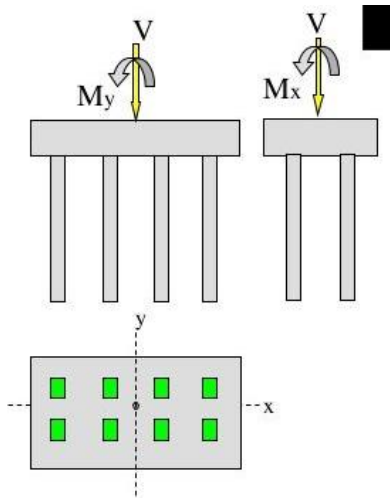
$$1,5D \leq S_1 \leq 2D \quad (2.95)$$

Keterangan :

S = jarak antar as tiang pancang

S_1 = jarak as tiang pancang ke tepi

D = diameter tiang pancang



Gambar 2. 12 Pengaruh Momen Arah X dan Y pada perhitungan tiang pancang kelompok

(Sumber: *Rekayasa Pondasi II*, 2014)

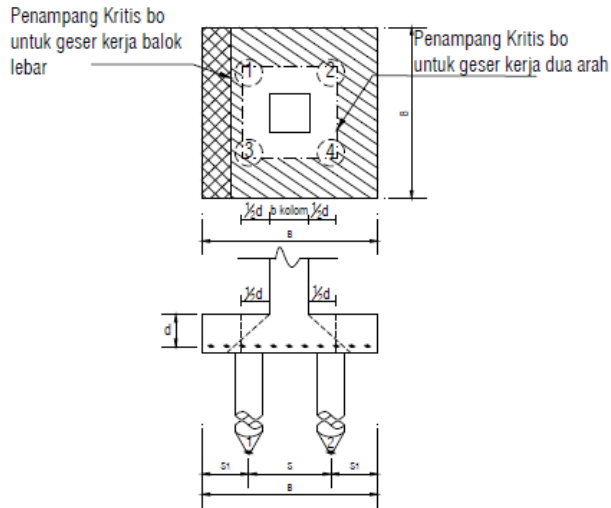
2.7.5 Perencanaan Poer

2.7.5 Perencanaan Poer

- Kontrol geser pons pada poer akibat beban aksial dari kolom

Kekuatan geser pondasi di sekitar kolom atau dinding yang dipikulnya harus ditentukan menurut mana yang lebih menentukan dari 2 (dua) kondisi tinjauan, baik sebagai kerja balok lebar satu arah maupun sebagai kerja dua arah. Dengan kerja balok lebar, pondasi dianggap sebagai balok lebar dengan penampang kritis pada lebar sepenuhnya. Biasanya kondisi ini jarang menentukan dalam desain. Kerja dua arah pada pondasi dimaksudkan untuk memeriksa kekuatan geser pons.

Penampang kritis untuk geser pons ini terletak pada sepanjang lintasan yang terletak sejauh $\frac{1}{2}d$ dari muka kolom yang dipikul pondasi. Gambar 2.11 menjelaskan cara menentukan penampang kritis, baik pada asumsi kerja lebar balok maupun dua arah.



Gambar 2. 13 Kontrol Geser Pons pada Poer akibat Kolom
(Sumber: Rekayasa Pondasi II, 2014)

- Kontrol Geser Satu Arah

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.96)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.97)$$

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \quad (2.98)$$

- Kontrol Geser Dua Arah

Kuat geser yang disumbangkan beton harus memenuhi

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.99)$$

V_c diambil nilai terkecil dari persamaan :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2.100)$$

$$V_c = 0,083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2.101)$$

$$V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2.102)$$

Keterangan :

βc = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

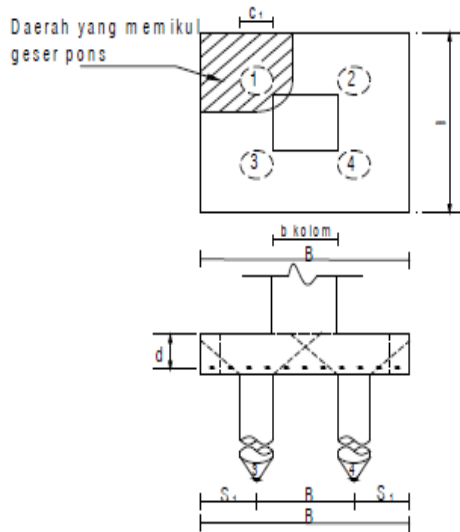
b_o = keliling dari penampang kritis
 $= 4 \cdot (0,5 \cdot d + b \text{ kolom} + 0,5 \cdot d)$

B_0 = Parameter penampang kritis

d = Tinggi manfaat pelat

- Kontrol geser pons pada poer akibat beban aksial dari tiang pancang

Kekuatan geser pondasi di daerah sekitar tiang pancang yang dipikul harus ditentukan dengan kerja dua arah pada pelat pondasi. Penampang kritis untuk geser pons ini terletak pada sepanjang lintasan yang terletak sejauh $\frac{1}{2} d$ dari muka tiang pancang, yang mengelilingi tiang pancang yang dipikul oleh pelat pondasi. Untuk mencapai kondisi kerja balok dua arah, maka syarat jarak tiang pancang ke tepi harus lebih besar dari 1,5 kali diameter tiang pancang tersebut. Gambar 3.7 menjelaskan cara menentukan penampang kritis akibat aksial tiang pancang pada asumsi kerja dua arah.



Gambar 2. 14 Kontrol Geser Pons pada Poer akibat Tiang Pancang

(Sumber: *Rekayasa Pondasi II*, 2014)

Kuat geser yang disumbangkan beton harus memenuhi

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.103)$$

V_c diambil nilai terkecil dari persamaan :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2.104)$$

$$V_c = 0,083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2.105)$$

$$V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2.106)$$

2.7.6 Penulangan Poer

Perencanaan tulangan lentur berdasarkan momen ultimate yang terjadi akibat tiang pancang terhadap muka kolom dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\rho_{min} = 0.002 \text{ (untuk } f_y = 240\text{mpa)}$$

$$\rho_{min} = 0.0018 \text{ (untuk } f_y \text{ selain } 240\text{mpa)}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \quad (2.107)$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} \quad (2.108)$$

$$\rho_{pertu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \quad (2.109)$$

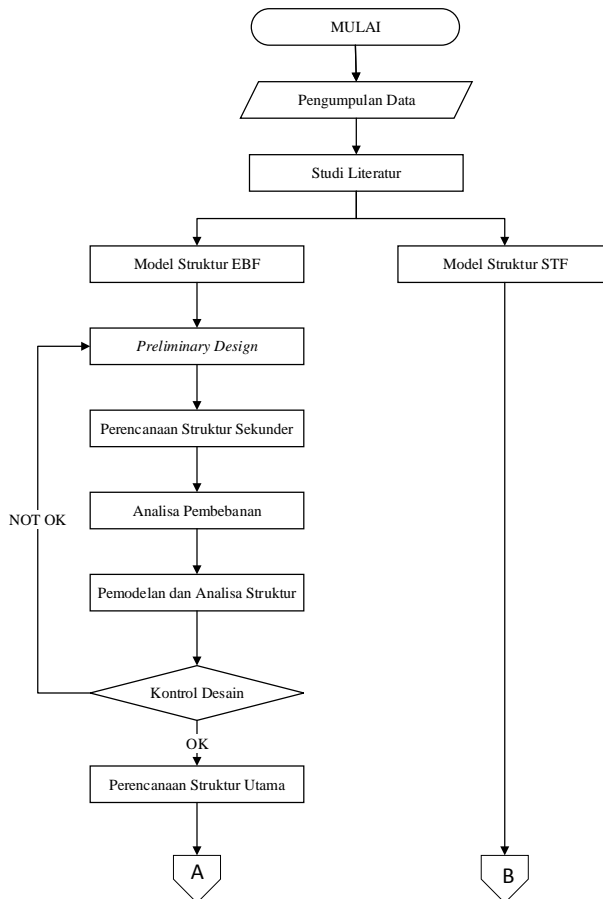
$$As = \rho \cdot b \cdot s \quad (2.110)$$

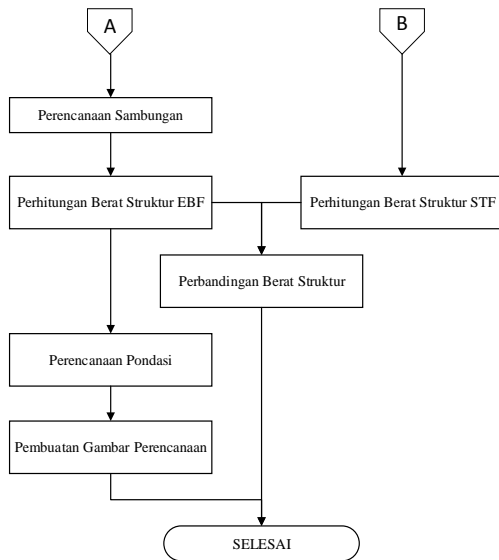
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Rencana Penyelesaian Tugas Akhir

Pada subbab ini akan digambarkan langkah-langkah pengerjaan tugas akhir dalam bentuk diagram alir pada **Gambar 3.1**.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Rencana Penyelesaian Tugas Akhir

3.2 Pengumpulan Data

Pada subbab ini akan membahas mengenai data awal yang akan digunakan dalam modifikasi perencanaan gedung dengan SRPE yang meliputi data bangunan secara umum, dan data tanah pada lokasi bangunan.

3.2.1 Data Umum Bangunan

Berikut adalah data awal gedung apartemen Purimas Surabaya secara umum yang akan digunakan.

Nama gedung	: Apartemen Purimas
Lokasi	: Jl. I Gusti Ngurah Rai, Surabaya
Fungsi	: Gedung Apartemen
Jumlah tingkat	: 14 tingkat (tidak termasuk lantai dasar)
Tinggi gedung	: 43.3 m
Zona gempa	: 3
Struktur utama	: Struktur beton bertulang

3.2.2 Data Tanah

Data tanah digunakan untuk mengetahui jenis tanah pada lokasi dimana nantinya akan menjadi faktor pengaruh gempa terhadap bangunan yang ditinjau. Data pengujian tanah diambil hanya 1 (satu) sampel dari 4 (empat) sampel pengujian sondir dan Boring Log dan SPT Diagram. Data pengujian tanah terdapat pada lampiran.

3.2.3 Data Modifikasi Perencanaan Struktur STF

Data Modifikasi STF ini merupakan data hasil perencanaan tugas akhir “**Studi Perilaku *Staggered Truss Framing Systems* pada Gedung Apartemen Purimas Surabaya**”. Data yang diambil dari tugas akhir tersebut sebagai acuan dalam perhitungan struktur STF adalah sebagai berikut :

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Faktor Keutamaan (I)	: 1
Mutu Baja	: BJ41 ($f_y = 250$ MPa; $f_u = 410$ MPa)
Mutu Beton	: $f'_c = 45$ MPa
Lebar gedung	: 13.85 m
Panjang gedung	: 44 m
Tinggi total gedung	: 43.3 m (13 lantai + atap)
Tinggi lantai dasar	: 4.3 m
Tinggi antar lantai 1-14	: 3 m
Pelat atap	: Hollow Core Slab (HCS), $t = 200$ mm
Pelat lantai	: Hollow Core Slab (HCS), $t = 200$ mm
Profil Kolom	: WF 400x400x45x70
Profil Balok Atap	: WF 600x200x11x17
Profil Balok Lantai	: WF 600x300x12x20
Truss Diagonal	: HSS 250x250x16
Truss Vertikal	: HSS 250x250x16
Truss Post	: HSS 250x250x16

Truss Hanger	: HSS 250x250x16
Truss Knee Braces	: HSS 400x400x12
Vierendeel Panel	: WF 300x150x5.5x8
Truss Chords	: WF 300x200x8x12

3.3 Studi Literatur

Pada subbab ini akan membahas mengenai literatur yang digunakan guna mendapatkan informasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Literatur yang digunakan meliputi referensi dari jurnal, buku seperti pada bab II, maupun dari peraturan mengenai perencanaan struktur bangunan baja yang berlaku. Peraturan yang digunakan tersebut adalah sebagai berikut :

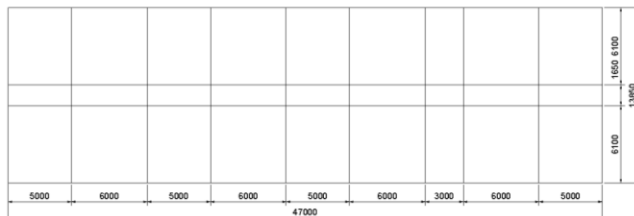
1. AISC-T-DG14-Staggered Truss Framing System
2. SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung
3. SNI 1729:2015 : Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural
4. SNI 1726:2012 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
5. SNI 1727:2013 : Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain
6. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983
7. Buku Ajar Struktur Baja I (Marwan & Isdarmanu, 2006)
8. Buku Daya Dukung Pondasi Dalam (Herman Wahyudi, 2011)

3.4 Model Modifikasi Struktur

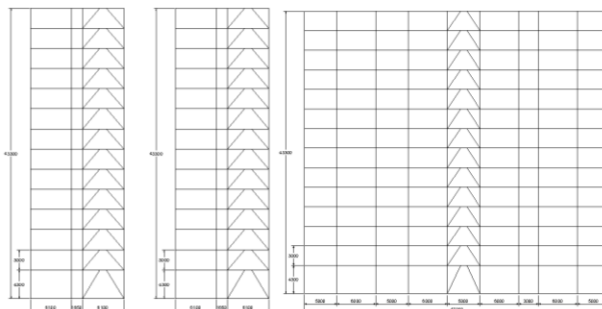
Pada subbab ini akan ditunjukkan mengenai model struktur yang akan digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini meliputi denah, dan potongan struktur apartemen Purimas Surabaya dengan modifikasi struktur SRPE dan STF.

3.4.1 Modifikasi Struktur SRPE

Gambar 3.2 dan **Gambar 3.3** dibawah merupakan model modifikasi struktur SRPE.



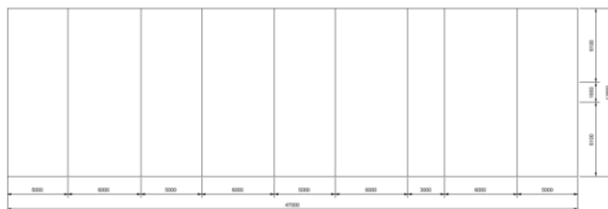
Gambar 3. 2 Denah Modifikasi Struktur SRPE



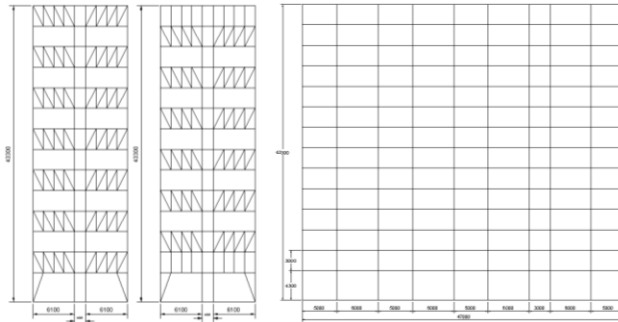
Gambar 3. 3 Potongan Melintang dan Memanjang Modifikasi Struktur SRPE

3.4.2 Modifikasi Struktur STF

Gambar 3.4 dan *Gambar 3.5* dibawah merupakan model modifikasi struktur STF.



Gambar 3. 4 Denah Modifikasi Struktur STF



Gambar 3. 5 Potongan Melintang dan Memanjang
Modifikasi Sruktur STF

3.5 Preliminary Design

Pada subbab ini akan membahas mengenai modifikasi perencanaan awal gedung apartemen Purimas Surabaya yang meliputi data struktur bangunan, material komponen struktur yang digunakan, serta pembebanan yang terjadi pada struktur. Struktur gedung diubah untuk keperluan perbandingan seperti pada *Gambar 3.2*, dan *Gambar 3.2* . Berikut adalah data modifikasi gedung apartemen Purimas Surabaya yang digunakan dalam perencanaan.

Nama gedung	: Apartemen Purimas
Lokasi	: Jl. I Gusti Ngurah Rai, Surabaya
Fungsi gedung	: Gedung Apartemen
Panjang gedung	: 44 m
Lebar gedung	: 13,85 m
Jumlah tingkat	: 14 tingkat (tidak termasuk lantai dasar)
Tinggi gedung	: 43,3 m (13 lantai + atap)
Tinggi lantai dasar	: 4,3 m
Tinggi antar lantai	: 3 m
Zona gempa	: 3

Struktur utama	: baja Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE), komposit baja dan beton (kolom)
Pelat atap & lantai	: <i>Prestressed Precast Concrete</i> tipe <i>Hollow Core Slab</i>
Mutu beton (f'_c)	: 45 MPa
Mutu baja	: BJ 41($f_y = 250$ MPa, $f_u = 400$ MPa)

3.6 Permodelan Struktur Sekunder

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai perencanaan desain struktur sekunder. Perencanaan struktur sekunder ini meliputi perencanaan pelat, balok anak, tangga, balok komposit lift.

1. Pelat lantai dan atap pada struktur direncanakan menggunakan *prestressed precast concrete* tipe *hollow core slab* (HCS). Perencanaan pelat lantai ini menggunakan data berdasarkan brosur PT. Beton Elemenindo Perkasa. Direncanakan HCS dengan tebal 200 mm.
2. Tangga direncanakan menggunakan baja komposit dengan menggunakan baja profil berdasarkan brosur. Tangga ini akan dikontrol sebagai elemen komposit yang menerima gaya lentur dan geser. Perencanaan elemen ini mengacu pada persamaan di subbab 2.5.2, dan 2.5.4.
3. Balok komposit lift direncanakan menggunakan baja komposit dengan baja profil berdasarkan brosur. Balok komposit lift ini akan dikontrol sebagai elemen komposit yang menerima gaya lentur. Perencanaan elemen ini mengacu pada persamaan di subbab 2.5.2, dan 2.5.4.

3.7 Analisa Pembebanan

Pada subbab ini akan membahas mengenai analisa pembebanan apartemen Purimas Surabaya. Analisa pembebanan dilakukan pada perencanaan struktur untuk mengetahui jenis dan besar setiap beban yang terjadi pada struktur. Analisa pembebanan

ini digunakan dalam perencanaan struktur yang akan dibahas pada subbab berikutnya. Berikut adalah pembebanan yang terjadi pada struktur mengacu pada SNI 1727:2013 dan PPIUG 1983.

3.7.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan lain terpasang lain termasuk berat keran (SNI 1727:2013 pasal 3.1.1). Beban mati yang terjadi pada perencanaan gedung ini mengacu pada PPIUG 1983 yang rinciannya telah dielaskan pada subbab 2.4.1.

3.7.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup yang terjadi pada perencanaan gedung apartemen Purimas Surabaya ini mengacu pada SNI 1727:2013 pasal 4 Tabel 4-1 yang rinciannya telah dijelaskan pada subbab 2.4.2.

3.7.3 Beban Angin

Perhitungan beban angin pada perencanaan gedung apartemen Purimas Surabaya ini mengacu pada SNI 1727:2013 pasal 27.4.1 seperti dijelaskan pada subbab 2.4.3.

3.7.4 Beban Gempa

Perhitungan beban angin pada perencanaan gedung apartemen Purimas Surabaya ini mengacu pada SNI 1726:2012 seperti dijelaskan pada subbab 2.4.4.

3.8 Permodelan dan Analisa Struktur

Pada subbab ini akan membahas mengenai pemodelan dan analisa struktur yang dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP2000. Hal ini dilakukan dengan membuat model struktur (balok, kolom, dan SRPE) apartemen Purimas Surabaya yang telah dimodifikasi. Setelah memodelkan struktur tersebut kemudian dilakukan analisa untuk mendapatkan gaya dalam yang digunakan untuk merencanakan struktur utama dan sambungan. Gaya dalam hasil analisa tersebut meliputi gaya aksial, momen, geser, dan torsi.

3.9 Kontrol Desain

Kontrol desain merupakan hal yang penting dilakukan sebelum merencanakan struktur utama. Hasil analisa struktur dikontrol terhadap persyaratan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726:2012. Kontrol yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Kontrol partisipasi massa
2. Kontrol *base shear*
3. Kontrol waktu getar alami fundamental
4. Kontrol simpangan antar lantai

3.10 Perencanaan Struktur Utama

Pada subbab ini akan membahas mengenai perencanaan struktur utama berdasarkan hasil analisa struktur yang telah dikontrol sebelumnya. Perencanaan struktur utama Purimas Surabaya ini meliputi balok induk, kolom, dan SRPE.

3.10.1 Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan elemen struktur yang menerima beban lentur, geser, dan torsi. Pada perencanaan struktur utama, balok induk akan dikontrol sebagai struktur lentur. Balok induk direncanakan menggunakan profil baja I yang komposit dengan *prestressed precast concrete* HCS. Perencanaan balok induk ini mengacu pada subbab 2.5.2 dan 2.5.4.

3.10.2 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan elemen struktur yang menerima beban lentur, geser, dan terutama aksial. Pada perencanaan struktur utama, kolom akan dikontrol sebagai elemen tekan. Kolom juga dikontrol sebagai elemen kombinasi tekan dan lentur, sehingga harus dikontrol interaksi. Kolom direncanakan komposit dengan menggunakan profil *square pipe* yang diisi dengan beton. Perencanaan balok induk ini mengacu pada subbab 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3 dan 2.5.4.

3.10.3 Perencanaan Sistem Rangka Pengaku Eksentris

Sistem rangka pengaku eksentris ini merupakan elemen utama dalam perencanaan modifikasi gedung apartemen Purimas Surabaya. Pada subbab ini membahas mengenai perencanaan *Link* pada balok dan *bracing* SRPE. *Link* pada balok direncanakan mengalami leleh terlebih dahulu dibandingkan dengan elemen struktur lain. Perencanaan *link* ini mengacu pada subbab 2.2. Sedangkan untuk *bracing* dikontrol sebagai elemen yang menerima gaya aksial.

3.11 Perencanaan Sambungan

Pada subbab ini akan membahas mengenai perencanaan sambungan yang akan digunakan pada struktur baja yang meliputi sambungan las, sambungan baut, dan kombinasi antara keduanya. Sambungan harus mampu memikul dan menyalurkan gaya – gaya yang bekerja antar elemen. Pada tugas akhir ini akan direncanakan sambungan balok anak - balok induk, balok induk – kolom, pelat – balok, dan antar kolom. Perencanaan sambungan ini dikontrol sesuai dengan persamaan - persamaan pada subbab 2.6.

3.12 Perencanaan Pondasi

Pada subbab ini akan dibahas mengenai perencanaan pondasi beserta *pilecap* yang berfungsi untuk menyalurkan gaya / beban

dari struktur atas ke tanah. Pada tugas akhir ini pondasi direncanakan menggunakan *bored pile* karena struktur termasuk bangunan tingkat tinggi. Perencanaan pondasi ini dikerjakan seperti yang dijelaskan pada subbab 2.7 dan berdasarkan data tanah sekitar lokasi proyek terlampir.

3.13 Perbandingan Berat Struktur Utama

Pada subbab ini akan membahas mengenai langkah yang dilakukan untuk melakukan perbandingan berat total struktur utama. Perbandingan berat ini dilakukan setelah perhitungan berat total struktur utama apartemen Purimas Surabaya dengan SRPE dan STF telah selesai. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berat struktur yang paling minimum diantara kedua sistem struktur baja guna memperoleh struktur baja yang paling ringan.

3.13.1 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam perbandingan sistem struktur pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Variabel bebas : variabel yang dipilih serta diukur oleh peneliti untuk menentukan adanya suatu hubungan pada keadaan atau kejadian yang diteliti oleh peneliti.
Variabel bebas dalam tugas akhir ini, yaitu : denah pembalokan struktur utama, dan sistem pengaku.
- Variabel kontrol : variabel kendali, artinya variabel ini netral. Jika akan diberikan variabel kontrol, maka kedua variabel sebelumnya akan mendapat perlakuan yang sama dari variabel ini.
Variabel kontrol dalam tugas akhir ini, yaitu : denah lantai, pembebanan (beban hidup, mati tambahan, angin, dan gempa).
- Variabel terikat : variabel yang ditimbulkan oleh variabel bebas. Variabel ini merupakan tujuan utama pada tugas akhir ini.

Variabel terikat dalam tugas akhir ini, yaitu : berat material baja pada struktur utama (balok, kolom, dan sistem pengaku).

3.13.2 Perhitungan Berat Struktur SRPE

Struktur apartemen Purimas Surabaya yang telah dimodifikasi menggunakan baja dengan Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE), kemudian dihitung berat total struktur utamanya berdasarkan hasil perencanaan yang telah dilakukan pada pembahasan sebelumnya. Struktur utama yang diperhitungkan dalam perbandingan berat ini adalah balok, kolom, pengaku, dan link.

3.13.3 Perhitungan Berat Struktur STF

Struktur apartemen Purimas Surabaya yang telah dimodifikasi menggunakan baja dengan sistem *Staggered Truss Frames* (STF), kemudian dihitung berat total struktur utamanya berdasarkan tugas akhir “**Studi Perilaku *Staggered Truss Framing Systems* pada gedung apartemen purimas surabaya**” yang telah diselesaikan. Pada perhitungan berat struktur STF ini, penulis mengambil data profil struktur utama yang digunakan pada tugas akhir tersebut dan menghitung berat total struktur utama berdasarkan denah pembalokan. Struktur utama yang diperhitungkan dalam perbandingan berat ini adalah balok, kolom, *vierendeel panel* dan seluruh elemen truss dari STF yang rinciannya terdapat pada subbab 3.2.3.

3.14 Pembuatan Gambar Perencanaan

Hasil perencanaan dan analisa struktur dengan Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE) yang telah dilakukan pada pembahasan sebelumnya divisualisasikan dalam bentuk gambar teknik. Gambar teknik ini meliputi denah, tampak, potongan gedung, detail sambungan, dan pondasi. Penggambaran hasil perencanaan ini dibuat menggunakan program bantu AutoCAD.

3.1 Penjadwalan Pengerjaan Tugas Akhir

Berikut adalah diagram penjadwalan pengerjaan tugas akhir “Modifikasi Perencanaan Struktur Baja Sistem Rangka Pengaku Eksentris (Srpe) dengan Perbandingan Berat Material Baja terhadap Sistem *Staggered Truss Frames* (Stf) pada Apartemen Purimas Surabaya”.

[illegible]

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Elemen Struktur Sekunder

Perencanaan Struktur Sekunder yang akan dibahas pada subbab ini meliputi perencanaan pelat lantai, tangga, dan balok penggantung *lift*.

4.1.1 Perencanaan Struktur Pelat

Perencanaan pelat lantai dan atap pada gedung ini menggunakan *Hollow Core Slab* (HCS) produksi PT Beton Elemenindo Perkasa dengan tabel perencanaan praktis pada lampiran. Struktur pelat direncanakan dengan menggunakan HCS dengan tebal sesuai dengan perhitungan pembebanan (beban berguna) pada pelat lantai dan atap. Spesifikasi HCS yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Lebar 1200 mm dengan panjang sesuai perhitungan
- Beton menggunakan mutu K-450 kg/cm²
- Tulangan PC Wire $\phi 5$ mm dan $\phi 7$ mm

4.1.1.1 Perencanaan Pelat Atap

a. Pembebanan

Beban mati :

- Lapisan kedap air (aspal)	=	14	kg/m ²
- Spesi (t=1 cm)	=	21	kg/m ²
- Penggantung Plafond	=	7	kg/m ²
- Plafond	=	11	kg/m ²
- MEP	=	25	kg/m ² +
q_{Dtotal}	=	78	kg/m ²

Beban hidup :

- Atap apartemen	=	0.96	kN/m ²
q_{Latap}	=	97.893	kg/m ²

Beban berguna :

$$\begin{aligned}
 - Q_{\text{total}} &= q_{\text{Dtotal}} + q_{\text{Latap}} \\
 &= 188 + 97.893 \\
 &= 285.893 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

b. Perencanaan pelat atap HCS

Berdasarkan tabel perencanaan praktis HCS yang terlampir dengan beban berguna sebesar 285.893 kg/m^2 dengan bentang maksimum pelat atap sebesar 6 m, maka didapat pelat atap HCS sebagai berikut:

- Tebal = 150 mm
- Diameter PC Wire = 5 mm
- Jumlah PC Wire = 14 buah
- Berat = 247 kg/m^2

4.1.1.2 Perencanaan Pelat Lantai

a. Pembebanan

Beban mati :

- Keramik ($t=1\text{cm}$) = 24 kg/m^2
- Spesi ($t=2 \text{ cm}$) = 42 kg/m^2
- Penggantung Plafond = 7 kg/m^2
- Plafond = 11 kg/m^2
- MEP = 25 kg/m^2

$$q_{\text{Dtotal}} = 109 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup :

- Lantai apartemen = 1.92 kN/m^2

$$q_{\text{Llantai}} = 195.785 \text{ kg/m}^2$$

Beban berguna :

$$\begin{aligned}
 - Q_{\text{total}} &= q_{\text{Dtotal}} + q_{\text{Llantai}} \\
 &= 219 + 195.785 \\
 &= 414.785 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

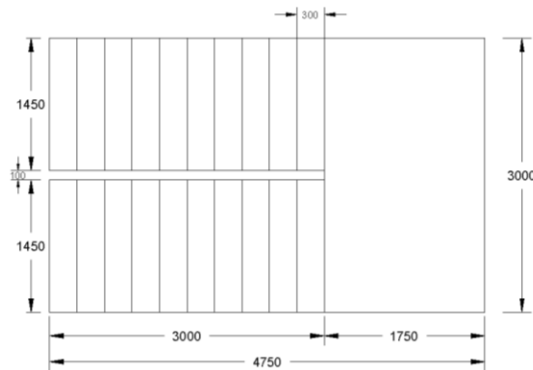
b. Perencanaan pelat lantai HCS

Berdasarkan tabel perencanaan praktis HCS yang terlampir dengan beban berguna sebesar 414.785 kg/m^2 dengan bentang maksimum pelat atap sebesar 6 m, maka didapat pelat lantai HCS sebagai berikut:

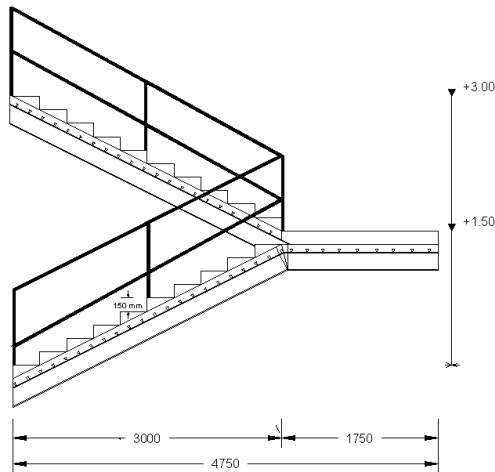
- Tebal = 150 mm
- Diameter PC Wire = 5 mm
- Jumlah PC Wire = 16 buah
- Berat = 247 kg/m^2

4.1.2 Perencanaan Struktur Tangga dan Bordes

Pada struktur tangga dan bordes berikut direncanakan struktur komposit baja dan beton dengan menggunakan bondek. Perencanaan struktur tangga ini meliputi perencanaan pelat anak tangga, pelat bordes, balok utama tangga, dan balok penumpu tangga.



Gambar 4. 1 Denah Tangga dan Bordes



Gambar 4. 2 Potongan Tangga

4.1.2.1 Perencanaan Tangga

Data Teknis Tangga:

- Mutu baja (BJ-41) :
 - f_y = 250 MPa,
 - f_u = 410 MPa
- Tinggi antar lantai = 300 cm
- Tinggi bordes (y) = 150 cm
- Panjang tangga (x) = 300 cm
- Lebar tangga = 145 cm
- Lebar bordes = 175 cm
- Lebar injakan (i) = 30 cm
- Lebar pegangan tangga = 10 cm
- Tinggi injakan (t) = 15 cm
- Jumlah tanjakan (n) = tinggi bordes/t = 150/15
= 10 buah
- Jumlah injakan = n-1 = 9 buah

Persyaratan Tangga :

$$60 \text{ cm} \leq (2t + i) \leq 65 \text{ cm}$$

$$60 \text{ cm} \leq (2.15+30) \leq 65 \text{ cm}$$

$$60 \text{ cm} \leq 60 \leq 65 \text{ cm} \dots \text{OK}$$

$$25^\circ < \alpha = \arctan(y/x) < 40^\circ$$

$$25^\circ < \arctan(150/300) < 40^\circ$$

$$25^\circ < 26.56^\circ < 40^\circ \dots \text{OK}$$

4.1.2.2 Perencanaan Pelat Anak Tangga

Anak tangga terbuat dari beton dan pelat beton anak tangga menggunakan pelat beton dengan deck baja. Struktur pelat beton anak tangga direncanakan menggunakan bantuan tabel perencanaan praktis berdasar brosur “SUPER FLOOR DECK”.

- Tebal dek baja = 0,75 mm
- Mutu Beton = 30 MPa
- Mutu Baja U-48 = 4800 kg/cm²
- Berat Jenis Beton = 2400 kg/cm²
- Tipe Pelat = Bentang Tunggal
- Tulangan Susut = Wire Mesh diameter 5 mm

a. Pembebanan

Beban mati :

$$\begin{aligned} \text{- Keramik (t=1cm)} &= 24x(t+i)/i = 36 \quad \text{kg/m}^2 \\ \text{- Spesi (t=1cm)} &= 21x(t+i)/i = 31.5 \quad \text{kg/m}^2 + \\ &\mathbf{q_{Dtotal}} = 67.5 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban hidup :

$$\begin{aligned} \text{- Tangga} &= 4.79 \text{ kN/m}^2 \\ &\mathbf{q_{Ltangga}} = 488.444 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban berguna :

$$\begin{aligned} \text{- } Q_{total} &= q_{Dtotal} + q_{Ltangga} \\ &= 67.5 + 488.444 \\ &= 555.944 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

b. Perencanaan bondek

Berdasarkan tabel perencanaan praktis bondek dengan bentang 1,45 m \approx 1,5 m dan beban berguna sebesar 555.944 kg/m², maka didapatkan :

- Bentang tunggal tanpa tulangan negatif
- Tebal pelat beton = 9 cm

4.1.2.3 Perencanaan Pelat Bordes

Anak tangga terbuat dari beton dan pelat beton anak tangga menggunakan pelat beton dengan deck baja. Struktur pelat beton anak tangga direncanakan menggunakan bantuan tabel perencanaan praktis berdasar brosur "SUPER FLOOR DECK".

- Tebal dek baja = 0,75 mm
- Mutu Beton = 30 MPa
- Mutu Baja U-48 = 4800 kg/cm²
- Berat Jenis Beton = 2400 kg/cm²
- Tipe Pelat = Bentang Tunggal
- Tulangan Susut = Wire Mesh diameter 5 mm

a. Pembebanan

Beban mati :

- Keramik (t=1cm) = 24 kg/m²
- Spesi (t=1cm) = 21 kg/m² +

$$q_{Dtotal} = 45 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup :

- Tangga = 4.79 kN/m²

$$q_{Ltangga} = 488.444 \text{ kg/m}^2$$

Beban berguna :

- $Q_{total} = q_{Dtotal} + q_{Ltangga}$
 $= 45 + 488.444$
 $= 533.444 \text{ kg/m}^2$

b. Perencanaan bondek

Berdasarkan tabel perencanaan praktis bondek dengan bentang $1,75 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$ dan beban berguna sebesar 533.444 kg/m^2 , maka didapatkan :

- Bentang $1,75 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$
- Beban berguna $= 533.444 \text{ kg/m}^2 \approx 600 \text{ kg/m}^2$
- Bentang menerus dengan tulangan negatif, didapatkan tebal pelat 9 cm , dan tulangan negatif $2,03 \text{ cm}^2/\text{m}$

Digunakan tulangan $\emptyset 10$ ($A_s = 0,7857 \text{ cm}^2$)

Jumlah tulangan yang dibutuhkan tiap meter adalah :

- $n = \frac{2,03}{0,7857} \frac{4,09}{0,7857} = 2,583 \approx 3 \text{ buah}$
- Jarak antar tulangan $s = \frac{1000}{3} = 333,33 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$

4.1.2.4 Perencanaan Balok Utama Tangga

Balok utama tangga dianalisa dengan menggunakan 2 buah balok WF pada sisi kanan dan kiri tangga dengan rencana di atas dua tumpuan sederhana yang menerima beban merata. Direncanakan balok utama menggunakan profil WF $200 \times 150 \times 6 \times 9$, dengan spesifikasi sebagai berikut:

W	= 30.6 kg/m	S _x	= 277 cm^3
A	= 39.01 cm^2	S _y	= 67.6 cm^3
d	= 194 mm	i _x	= 8.3 cm
bf	= 150 mm	i _y	= 3.61 cm
tf	= 9 mm	Z _x	= 196 cm^3
tw	= 6 mm	Z _y	= 103 cm^3
I _x	= 2690 cm^4	r	= 13 cm
I _y	= 507 cm^4	h	= $d - 2(tf+r)$
f _y	= 250 Mpa (BJ-41)		= 150 mm

tebal pelat anak tangga = 9 cm

tebal rata-rata (tr) = $\frac{i}{2} \sin \alpha = \frac{30}{2} \sin 26.565 = 6.71 \text{ cm}$

tebal total (t) = $9 + 6.71 = 15.71 \text{ cm}$

a. Pembebanan

Beban mati pada anak tangga (q_{D1})

$$\begin{aligned}
 - \text{Pelat beton} &= \frac{2400 \times 1.45 / 2 \times 0.16}{\cos 26.565} = 305.584 \text{ kg/m} \\
 - \text{Bondek} &= \frac{10.1 \times 1.45 / 2}{\cos 26.565} = 8.187 \text{ kg/m} \\
 - \text{Keramik (t=1cm)} &= 36 \times 1.45 / 2 = 26.1 \text{ kg/m} \\
 - \text{Spesi (t=1cm)} &= 31.5 \times 1.45 / 2 = 22.837 \text{ kg/m} \\
 - \text{Railing tangga} &= 10 \text{ kg/m} \\
 - \text{Berat sendiri profil} &= 30.6 \text{ kg/m} + \\
 &q = 403.308 \text{ kg/m} \\
 - \text{Sambungan (10\%} \times q) &= 40.331 \text{ kg/m} + \\
 &\mathbf{q_{D1total} = 443.639 \text{ kg/m}}
 \end{aligned}$$

Beban hidup pada anak tangga (q_{L1})

$$\begin{aligned}
 - \text{Tangga} &= 488.444 \times 1.45 / 2 = 354.122 \text{ kg/m}^2 \\
 &\mathbf{q_{L1total} = 354.122 \text{ kg/m}^2}
 \end{aligned}$$

Beban total pada anak tangga (q_1)

$$\begin{aligned}
 q_1 &= 1.2 \times q_{D1total} + 1.6 \times q_{L1total} \\
 &= 1.2 \times 443.639 + 1.6 \times 354.122 \\
 &= 1098.962 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban mati pada bordes (q_{D2})

$$\begin{aligned}
 - \text{Pelat beton} &= 2400 \times 1.45 / 2 \times 0.9 = 156.6 \text{ kg/m} \\
 - \text{Bondek} &= 10.1 \times 1.45 / 2 = 7.323 \text{ kg/m} \\
 - \text{Keramik (t=1cm)} &= 24 \times 1.45 / 2 = 17.4 \text{ kg/m} \\
 - \text{Spesi (t=1cm)} &= 21 \times 1.45 / 2 = 15.23 \text{ kg/m} \\
 - \text{Railing tangga} &= 10 \text{ kg/m} \\
 - \text{Berat sendiri profil} &= 30.6 \text{ kg/m} + \\
 &q = 237.147 \text{ kg/m} \\
 - \text{Sambungan (10\%} \times q) &= 23.715 \text{ kg/m} + \\
 &\mathbf{q_{D2total} = 260.862 \text{ kg/m}}
 \end{aligned}$$

Beban hidup pada bordes (q_{L2})

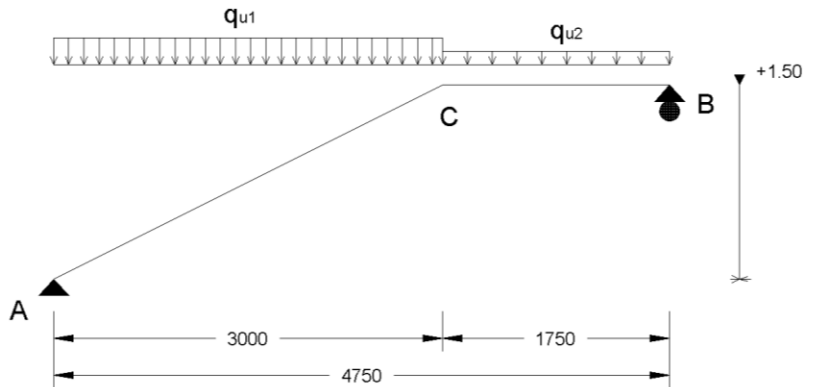
$$\text{- Tangga} = 488.444 \times 1.45/2 = 354.122 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{L2\text{total}} = 354.122 \text{ kg/m}^2$$

Beban total pada bordes (q_2)

$$\begin{aligned} q_2 &= 1.2 \times q_{D2\text{total}} + 1.6 \times q_{L2\text{total}} \\ &= 1.2 \times 260.862 + 1.6 \times 354.122 \\ &= 879.63 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

b. Perhitungan reaksi perletakan



Gambar 4.3 Sketsa Pembebanan Balok Utama Tangga

$$\Sigma M_A = 0$$

$$R_B \cdot (3+1.75) - \frac{1}{2} \times q_1 \times 3^2 - q_2 \times (3+1.75/2) = 0$$

$$R_B = \frac{\frac{1}{2} \times 1098.962 \times 3^2 - 879.63 \times (3+1.75/2)}{(3+1.75)} = 2296.909 \text{ kg}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$R_A - q_1 \times 3 - q_2 \times (3+1.75) - R_B = 0$$

$$R_A = 2539.329 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

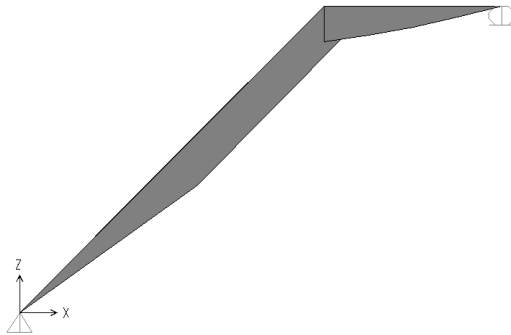
$$R_A \cdot (3+1,75) - \frac{1}{2} \times q_1 \times 3^2 - q_2 \times (3+1,75/2) - H_A \times 1,5 = 0$$

$$H_A = \frac{2539 \times 4,75 + \frac{1}{2} \times 1098,962 \times 3^2 - 879,63 \times (3+1,75/2)}{(3+1,75)} =$$

$$= 2573,503 \text{ kg}$$

c. Perhitungan gaya dalam

Bidang M (Momen)



Gambar 4. 4 Bidang M Balok Utama Tangga

Titik A-C

$$M_x = R_A \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q_1 \cdot x^2$$

$$M_A (x=0) = 2539,329 \times 0 - \frac{1}{2} \times 1098,962 \times 0^2 = 0 \text{ kgm}$$

$$M_C (x=300) = 2539,329 \times 3 - \frac{1}{2} \times 1098,962 \times 3^2$$

$$= 2672,658 \text{ kgm}$$

Momen maksimum terjadi jika $\frac{dM_x}{dx} = 0$, maka

$$R_A - q_1 \cdot x = 0$$

$$x = R_A / q_1 = 2539,329 / 1098,962 = 2,305 \text{ m}$$

$$M_{\max} = R_A x - \frac{1}{2} q_1 \cdot x^2$$

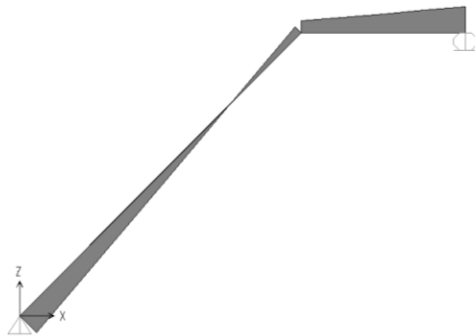
$$= 2539,329 \times 2,305 - \frac{1}{2} \times 1098,962 \times 2,305^2$$

$$= 2933,765 \text{ kgm}$$

Titik B-C

$$\begin{aligned}
 M_x &= R_B \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q_2 \cdot x^2 \\
 M_B (x=0) &= 2321.194 \times 0 - \frac{1}{2} \times 879.63 \times 0^2 = 0 \text{ kgm} \\
 M_C (x=175) &= 2321.194 \times 1.75 - \frac{1}{2} \times 879.63 \times 1.75^2 \\
 &= 2672.658 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Bidang D (Geser)



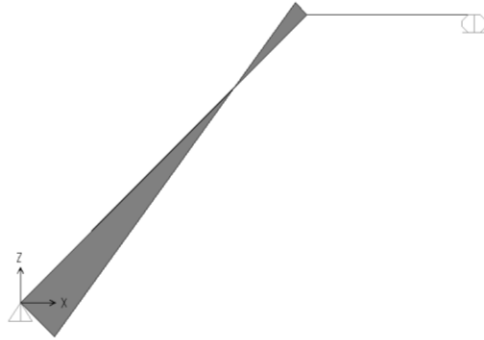
Gambar 4. 5 Bidang D Balok Utama Tangga

Titik A-C

$$\begin{aligned}
 D_x &= R_A \cdot \cos \alpha - q_1 \cdot x \cdot \cos \alpha \\
 D_A (x=0) &= 2539.329 \times \cos 26.565 - 1098.962 \times 0 \times \cos 26.565 = 2271.245 \text{ kg} \\
 D_C (x=300) &= R_A \cdot \cos \alpha - q_1 \cdot x \cdot \cos \alpha \\
 &= 2539.329 \times \cos 26.565 - 1098.962 \times 300 \\
 &\quad \times \cos 26.565 = -677.56 \text{ kg} \\
 &= -677.56 / \cos 26.565 = -757.557 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Titik B-C

$$\begin{aligned}
 D_x &= -R_B + q_2 \cdot x \\
 D_B (x=0) &= -2296.909 + 879.63 \times 0 = -2296.909 \text{ kg} \\
 D_C (x=175) &= -2296.909 + 879.63 \times 175 = -757.557 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Bidang N (Aksial)**Gambar 4. 6** Bidang N Balok Utama Tangga

Titik A-C

$$N_x = R_A \cdot \sin \alpha - q_l \cdot x \cdot \sin \alpha$$

$$N_A (x=0) = 2539.329 \times \sin 26.565 - 1098.962 \times 0 \times \sin 26.565 = 1135.623 \text{ kg (tekan)}$$

$$N_C (x=300) = 2539.329 \times \sin 26.565 - 1098.962 \times 300 \times \sin 26.565 = -338.79 \text{ kg (tekan)}$$

Titik B-C

$$N_{cka} = N_{Bki} = 0$$

d. Kontrol penampang

Sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{150}{2 \times 9} = 8.333$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10.748$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{b_f}{2t_f} = 8.333 \\ \lambda_p = 10.748 \end{array} \right\} \frac{b_f}{2t_f} < \lambda_p$$

Badan

$$\left. \begin{aligned} \frac{h}{t_w} &= \frac{150}{6} = 25 \\ \lambda_p &= 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106.349 \end{aligned} \right\} \frac{h}{t_w} < \lambda_p$$

profil tersebut termasuk **penampang kompak**, sehingga

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = Z_x \cdot f_y = 196 \times 2549.29 = 499660.84 \text{ kgcm} \\ \phi M_n &= 0.9 \times 499660.84 = 449694.756 \text{ kgcm} \\ &= 4496.95 \text{ kgm} \\ \mu &= 2933.765 \text{ kgm} < \phi M_n = 4496.95 \text{ kgm} \dots \mathbf{OK} \end{aligned}$$

e. Kontrol tekuk lateral

Batang miring A-C

$L_b = 20 \text{ cm}$ (jarak *shear connector* pada bondek)

$$\begin{aligned} L_p &= 1.76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1.76 \times 3.61 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 179.707 \text{ cm} \end{aligned}$$

$L_b < L_p$ = keadaan batas dari tekuk torsi lateral tidak boleh digunakan

Batang horizontal C-B

$L_b = 20 \text{ cm}$ (jarak *shear connector* pada bondek)

$$\begin{aligned} L_p &= 1.76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1.76 \times 3.61 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 179.707 \text{ cm} \end{aligned}$$

$L_b < L_p$ = keadaan batas dari tekuk torsi lateral tidak boleh digunakan

f. Kontrol geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{150}{6} = 25 \quad \left. \vphantom{\frac{h}{t_w}} \right\} \frac{h}{t_w} < 2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 63.357$$

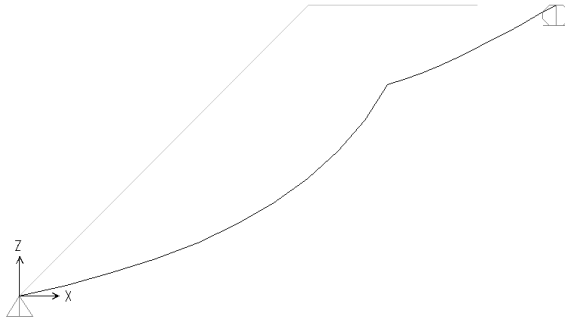
Kondisi **plastis**, sehingga

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6 f_y A_w C_v \\ &= 0.6 \times 2549.29 \times (19.4 \times 0.6) \times 1 \\ &= 17804.241 \text{ kg} \\ \phi V_n &= 0.9 \times 17804.241 = 16023.82 \text{ kg} \\ V_u &= 2296.91 \text{ kg} < \phi V_n = 16023.82 \text{ kg} \dots \mathbf{OK} \end{aligned}$$

g. Kontrol lendutan

$$f_{ijin \text{ A-B}} = \frac{L}{360} = \frac{475}{360} = 1.319 \text{ cm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan SAP2000 maka didapatkan lendutan maksimum yang terjadi pada balok utama tangga adalah sebesar 0.821 cm seperti pada gambar 4.7 berikut.



Gambar 4. 7 Analisa Lendutan Balok Utama Tangga

Maka, $f_{maks} = 0.821 \text{ cm} < f_{ijin} = 1.319 \text{ cm} \dots \mathbf{OK}$

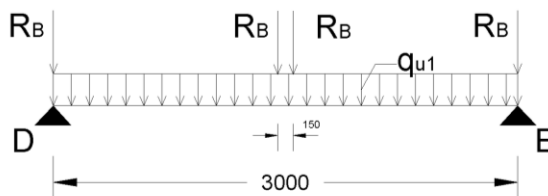
4.1.2.5 Perencanaan Balok Penumpu Tangga

Direncanakan balok utama penumpu tangga menggunakan profil WF 200×150×6×9, dengan spesifikasi sebagai berikut:

W	= 30.6 kg/m	S _x	= 277 cm ³
A	= 39.01 cm ²	S _y	= 67.6 cm ³
d	= 194 mm	i _x	= 8.3 cm
bf	= 150 mm	i _y	= 3.61 cm
tf	= 9 mm	Z _x	= 196 cm ³
tw	= 6 mm	Z _y	= 103 cm ³
I _x	= 2690 cm ⁴	r	= 13 cm
I _y	= 507 cm ⁴	h	= d - 2(tf+r)
f _y	= 250 Mpa (BJ-41)		= 150 mm

a. Pembebanan

Pembebanan pada balok penumpu tangga diperoleh dari gaya reaksi (R_B) yang bekerja pada balok utama tangga. Gaya reaksi tersebut akan menjadi 2 beban terpusat P yang menumpu pada tengah balok penumpu tangga. Pada balok penumpu tangga juga bekerja beban merata yang berasal dari dinding setengah dari tinggi lantai dan berat profil. Berikut ini adalah sketsa pembebanan balok penumpu tangga.



Gambar 4. 8 Sketsa Pembebanan Balok Penumpu Tangga

Beban terpusat (P)

$$R_B = 2296.909 \text{ kg}$$

Beban merata (q)

- Beban dinding	= 157.5 kg/m
- Berat sendiri profil	= 30.6 kg/m +
	q = 188.1 kg/m
- Sambungan (10% × q)	= 18.81 kg/m +
	q _{total} = 206.91 kg/m

b. Perhitungan reaksi perletakan

$$\Sigma M_D = 0$$

$$R_E \times 3 - \frac{1}{2} \times q \times 3^2 - R_B \times 1.45 - R_A \times (1.45 + 0.1) = 0$$

$$R_E = \frac{\frac{1}{2} \times 206.91 \times 3^2 + 2296.909 \times 1.45 + 2296.909 \times (1.45 + 0.1)}{3}$$

$$= 4904.18 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_E = 0$$

$$R_D \times 3 - \frac{1}{2} \times q \times 3^2 - R_A \times 1.45 - R_B \times (1.45 + 0.1) = 0$$

$$R_D = \frac{\frac{1}{2} \times 206.91 \times 3^2 + 2296.909 \times 1.45 + 2296.909 \times (1.45 + 0.1)}{3}$$

$$= 4904.18 \text{ kg}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \Sigma V &= R_D + R_E - q \times 3 - 4 \times R_B \\ &= 4904.18 + 4904.18 - 206.91 \times 3 - 4 \times 2296.909 \\ &= 0 \dots \mathbf{OK} \end{aligned}$$

c. Perhitungan gaya dalam

Karena beban simetris gaya momen maksimum terletak pada tengah bentang, sedangkan gaya geser maksimum terletak pada perletakan

$$\begin{aligned} M_{\text{maks}} &= R_D \times 1.5 - R_B \times (0.15/2) - \frac{1}{2} \times q \times 1.5^2 \\ &= 2607.274 \times 1.5 - 2296.909 \times 0.05 - \frac{1}{2} \times 206.91 \\ &\quad \times 1.5^2 \\ &= 3571.05 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$V_{\text{maks}} = R_E = 4904.18 \text{ kg}$$

- d. Kontrol penampang
Sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{150}{2 \times 9} = 8.333$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10.748$$

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{150}{6} = 25$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106.349$$

profil tersebut termasuk **penampang kompak**, sehingga
 $M_n = M_p = Z_x \cdot f_y = 196 \times 2549.29 = 499660.84 \text{ kgcm}$

- e. Kontrol tekuk lateral

$L_b = 145 \text{ cm}$ (jarak antar balok utama tangga)

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 3.61 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 179.707 \text{ cm}$$

$L_b < L_p$, sehingga

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.9 \times 499660.84 = 449694.756 \text{ kgcm} \\ &= 4496.95 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_u = 3571.05 \text{ kgm} < \phi M_n = 4496.95 \text{ kgm} \dots \text{OK}$$

- f. Kontrol geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{208}{5} = 41.6$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 63.357$$

Kondisi **plastis**, sehingga

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0.6 f_y A_w C_v \\
 &= 0.6 \times 2549.29 \times (24.8 \times 0.5) \times 1 \\
 &= 17804.24 \text{ kg} \\
 \phi V_n &= 0.9 \times 17804.24 = 16023.82 \text{ kg} \\
 V_u &= 4904.18 \text{ kg} < \phi V_n = 16023.82 \text{ kg} \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

g. Kontrol lendutan

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{300}{360} = 0.833 \text{ cm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan SAP2000 maka didapatkan lendutan maksimum yang terjadi pada balok penumpu tangga adalah sebesar 0.234 cm seperti pada gambar.



Gambar 4. 9 Analisa Lendutan Balok Penumpu Tangga

Maka, $f = 0.234 \text{ cm} < f_{ijin} = 0.833 \text{ cm} \dots \text{OK}$

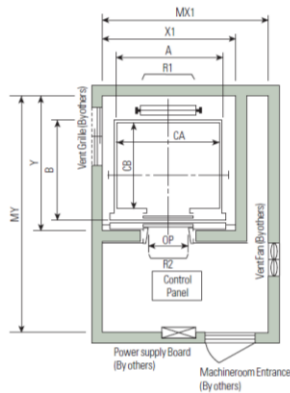
4.1.3 Perencanaan Struktur Balok Penggantung *Lift*

Pada perencanaan balok *lift* ini akan dilakukan perencanaan pada balok dimana *lift* akan digantung / ditempatkan yang terletak pada bagian paling atas gedung.

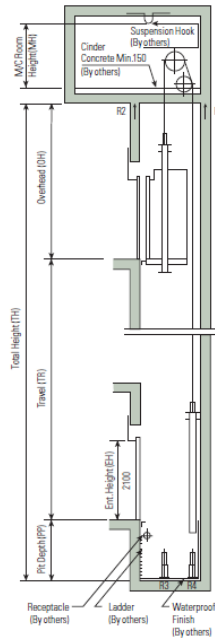
4.1.3.1 Spesifikasi Lift

Pada gedung ini menggunakan lift penumpang dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:

- Tipe lift : *Luxen*
- Merk : HYUNDAI ELEVATOR
- Kapasitas : 10 Orang / 700 kg
- Lebar pintu (*opening width*): 800 mm
- Dimensi ruang sangkar
 - Internal : 1400 x 1250 mm²
 - Eksternal : 1460 x 1405 mm²
- Dimensi ruang luncur (*hoistway inside*) 1 Car : 1850 x 1850 mm²
- Dimensi ruang mesin : 2000 x 3600 mm²
- Beban reaksi ruang mesin : $R_1 = 4200 \text{ kg}$
 $R_2 = 2700 \text{ kg}$



Gambar 4. 10 Lift



Gambar 4. 11 *Hoistway Section*

4.1.3.2 Perencanaan Balok Penggantung Lift

Balok penggantung lift direncanakan menggunakan profil WF 300 x 150 x 6,5 x 9, dengan data- data sebagai berikut:

d	= 300 mm	ix	= 12,4 cm
bf	= 150 mm	iy	= 3,29 cm
tf	= 9 mm	Zx	= 522 cm ³
tw	= 6,5 mm	Zy	= 104 cm ³
A	= 46,78 cm ²	Sx	= 481 cm ³
q	= 36,7 kg/m	Sy	= 67,7 cm ³
Ix	= 7210 cm ⁴	r	= 13 cm
Iy	= 508 cm ⁴	h	= d - 2(tf+r)
Fy	= 250 Mpa (BJ-41)		= 256 mm

a. Pembebanan

Beban terpusat *lift* (P)

$$k_1 = 0.6$$

$$k_2 = 1.3$$

$$v = 1$$

$$\Psi = 1 + k_1 + k_2 + v = 1 + 0.6 + 1.3 + 1 = 1.78$$

$$PU1 = R_1 \cdot \Psi = 4200 \times \Psi = 7476 \text{ kg (maksimum)}$$

$$PU2 = R_2 \cdot \Psi = 4806 \times \Psi = 4806 \text{ kg}$$

$$PU = 7476 \text{ kg}$$

Beban mati merata (q_D)

$$\text{- Berat sendiri profil} \quad = \frac{36.7 \text{ kg/m} +}{q_D}$$

$$= \frac{36.7 \text{ kg/m} +}{q_D}$$

$$\text{- Sambungan (10\% \times q)} \quad = \frac{3.67 \text{ kg/m} +}{q_{Dtotal}}$$

$$= 40.37 \text{ kg/m}$$

Beban hidup merata (q_L)Digunakan untuk *maintenance*

$$P = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$q_L = 100 \times 1 = 100 \text{ kg/m}$$

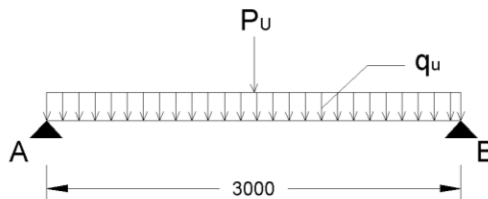
Beban merata ultimate (q)

$$q = 1.2 \times q_D + 1.6 \times q_L$$

$$= 1.2 \times 40.37 + 1.6 \times 100$$

$$= 208.44 \text{ kg/m}$$

b. Perhitungan reaksi perletakan



Gambar 4. 12 Sketsa Pembebanan Balok Penggantung *Lift*

$$\begin{aligned}\Sigma M_A &= 0 \\ R_B \times 3 - \frac{1}{2} \times q \times 3^2 - PU \times 1.5 &= 0 \\ R_B &= \frac{\frac{1}{2} \times 208.44 \times 3^2 + 7476 \times 1.5}{3} \\ &= 4050.67 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_B &= 0 \\ R_A \times 3 - \frac{1}{2} \times q \times 3^2 - PU \times 1.5 &= 0 \\ R_A &= \frac{\frac{1}{2} \times 208.44 \times 3^2 + 7476 \times 1.5}{3} \\ &= 4050.67 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}\Sigma V &= R_A + R_B - q \times 3 - PU \\ &= 4050.67 + 4050.67 - 208.44 \times 3 - 7476 \\ &= 0 \dots \mathbf{OK}\end{aligned}$$

c. Perhitungan gaya dalam

Karena beban simetris gaya momen maksimum terletak pada tengah bentang, sedangkan gaya geser maksimum terletak pada perletakan

$$\begin{aligned}M_{\text{maks}} &= R_A \times 1.5 - \frac{1}{2} \times q \times 1.5^2 \\ &= 4050.67 \times 1.5 - \frac{1}{2} \times 208.44 \times 1.5^2 \\ &= 5841.5 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$V_{\text{maks}} = R_A = 4050.67 \text{ kg}$$

d. Kontrol penampang

Sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{150}{2 \times 9} = 8.333$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10.748$$



Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{256}{6.5} = 39.385$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106.349 \quad \left. \vphantom{\lambda_p} \right\} \text{ [Redacted]}$$

profil tersebut termasuk **penampang kompak**, sehingga

$$M_p = Z_x \cdot f_y = 522 \times 2549.29 = 1330729 \text{ kgcm}$$

e. Kontrol tekuk lateral

$L_b = 300 \text{ cm}$ (panjang bentang)

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

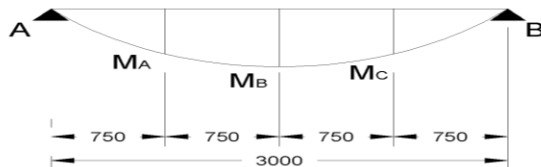
$$= 1.76 \times 3.29 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 163.777 \text{ cm}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 f_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 f_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 4782 \text{ mm} = 478.2 \text{ cm}$$

$L_b < L_p < L_r$ = bentang menengah, sehingga :

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L_b}{L_r - L_p} \right] \leq M_p$$



Gambar 4. 13 Diagram Momen Balok Penggantung
Lift

$$M_{\max} = M_B = 5841.5 \text{ kgm}$$

$$M_A = M_C = R_A \times 3/4 - 1/2 \times q \times 3/4^2 = 2979.37 \text{ kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2,3$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 5841.5}{2,5 \times 5841.5 + 3 \times 2979.37 + 4 \times 5841.5 + 3 \times 2979.37} \leq 2,3$$

$$C_b = \mathbf{1.3075} < 2.3$$

$$M_r = Z_x \cdot (f_y - f_r) = 196 \times (2549.29 - 700)$$

$$= 889508 \text{ kgcm} = 8895.08 \text{ kgm}$$

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L_b}{L_r - L_p} \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1.3075 \left[8895.08 + (4996.6 - 8895.08) \frac{478.2 - 300}{478.2 - 163.78} \right]$$

$$M_n = 14899.9 \text{ kgm} > M_p = 13307.29 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 13307.29 = 11976.6 \text{ kgm}$$

$$M_u = 5841.25 \text{ kgm} < \phi M_n = 11976.6 \text{ kgm} \dots \mathbf{OK}$$

f. Kontrol geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{256}{6.5} = 39.385$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 63.357$$

}

Kondisi **plastis**, sehingga

$$V_n = 0.6 f_y A_w C_v$$

$$= 0.6 \times 2549.29 \times (30 \times 0.65) \times 1$$

$$= 29826.7 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 29826.7 = 26844 \text{ kg}$$

$$V_u = 4050.67 \text{ kg} < \phi V_n = 26844 \text{ kg} \dots \mathbf{OK}$$

g. Kontrol lendutan

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{300}{360} = 0.833 \text{ cm}$$

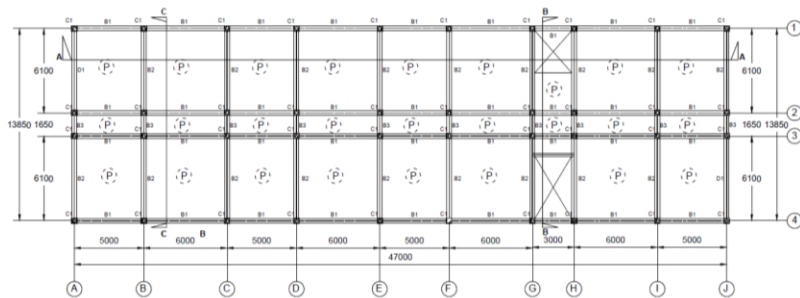
$$\begin{aligned} f &= \frac{5((q_D + q_L)/100)l^2}{384 \cdot EI_x} + \frac{P \cdot l^2}{48 EI_x} \\ &= \frac{5((40.37 + 100)/100)300^4}{384 \cdot 2039432 \cdot 7210} + \frac{7476 \cdot 300^3}{48 \cdot 2039432 \cdot 7210} \\ &= 0.0101 + 0.286 \\ &= 0.296 \text{ cm} < f_{ijin} = 0.833 \text{ cm} \dots \mathbf{OK} \end{aligned}$$



Gambar 4. 14 Analisa Lendutan Balok Penggantung
Lift

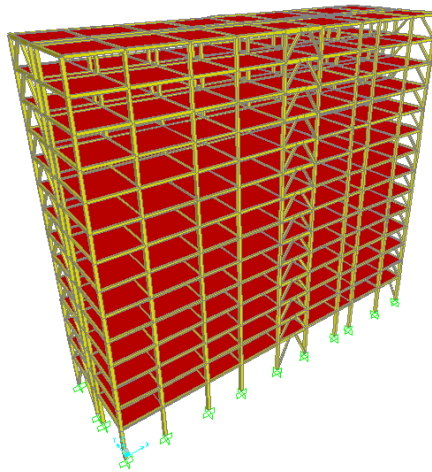
4.2 Permodelan Struktur

Permodelan struktur atas pada tugas akhir ini menggunakan Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE). Sistem struktur SRPE ini berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang disebabkan oleh gempa bumi. Struktur yang akan direncanakan pada tugas akhir ini merupakan bangunan apartemen 14 lantai, dengan denah rencana struktur adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 15 Denah Struktur Apartemen Purimas Surabaya

Pada **Gambar 4.15** arah vertikal mengikuti arah sumbu Y global (sumbu model) dan sumbu X adalah arah horizontal gambar. Sistem rangka baja yang direncanakan pada tugas akhir ini menggunakan K-Split EBF yang dipasang pada tepi bangunan di setiap sisi. Permodelan struktur apartemen ini dilakukan menggunakan program bantu analisa struktur. Pada program bantu analisa struktur, struktur apartemen akan dimodelkan sesuai dengan kondisi sesungguhnya. Gambar 4.16 berikut merupakan permodelan yang dilakukan dengan menggunakan program bantu analisa struktur.



Gambar 4. 16 Permodelan Struktur SRPE

4.2.1 Pembebanan Struktur Utama

Pembebanan struktur utama berikut mengacu pada peraturan yang berlaku, brosur, dan perhitungan struktur sekunder sebelumnya.

4.2.1.1 Data Gedung

Data perencanaan gedung apartemen Purimas Surabaya yang telah direncanakan dengan SRPE adalah sebagai berikut :

4.2.1.2 Beban Mati

Beban mati adalah seluruh bagian bangunan yang bersifat tetap dan tidak terpisahkan dari bangunan selama masa layannya. Beban mati yang dihitung pada struktur ini antara lain:

- Berat beton yang memiliki berat jenis 2400 kg/m^3
- Berat profil baja yang terpasang sebagai rangka baja berupa balok, kolom, tangga, bressing dll memiliki berat jenis 7850 kg/m^3
- Berat jenis dinding citicon sebesar 600 kg/m^3 (brosur terlampir)

- Berat aspal (lapisan kedap air) sebesar 14 kg/m^2
 - Berat keramik sebesar 24 kg/m^2 untuk setiap ketebalan 1 cm
 - Berat spesi sebesar 21 kg/m^2 untuk setiap ketebalan 1 cm
 - Berat MEP (listrik dan perpipaan) sebesar 25 kg/m^2
 - Berat plafond dan penggantung sebesar 18 kg/m^2
- Beban lift merupakan beban terpusat pada balok lantai teratas, dengan besar beban lift terlampir.

Dengan rincian pembebanan sebagai berikut :

Pelat atap

- Lapisan kedap air (aspal)	=	14	kg/m^2
- Spesi (t=1 cm)	=	21	kg/m^2
- Toping (t=5cm)	=	110	kg/m^2
- Penggantung Plafond	=	7	kg/m^2
- Plafond	=	11	kg/m^2
- MEP	=	25	kg/m^2
		<u>188</u>	kg/m^2

Pelat lantai

- Keramik (t=1cm)	=	24	kg/m^2
- Spesi (t=2 cm)	=	42	kg/m^2
- Toping (t=5cm)	=	110	kg/m^2
- Penggantung Plafond	=	7	kg/m^2
- Plafond	=	11	kg/m^2
- MEP	=	25	kg/m^2
		<u>219</u>	kg/m^2

4.2.1.3 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang bertumpu pada bangunan yang memiliki kemungkinan untuk lepas dari bangunan tersebut. Beban hidup sudah termasuk perlengkapan ruangan dan dinding pemisah ringan (dinding partisi) yang beratnya tidak melebihi 100 kg/m^2 . Beban hidup yang bekerja pada apartemen ini adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 & \text{- Atap apartemen} & & = 0.96 \text{ kN/m}^2 \\
 & q_{\text{Latap}} & & = 97.893 \text{ kg/m}^2 \\
 & \text{- Lantai apartemen} & & = 1.92 \text{ kN/m}^2 \\
 & q_{\text{Llantai}} & & = 195.785 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

4.2.2 Kontrol Permodelan struktur

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, berikut adalah rekapitulasi pembebanan gravitasi (beban mati + beban hidup) pada gedung apartemen Purimas Surabaya.

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Pembebanan Gravitasi

Lantai	Berat (kg)
1	681947.09
2	637796.65
3	637796.65
4	637796.65
5	615259.88
6	615259.88
7	615259.88
8	615259.88
9	615259.88
10	604639.88
11	604639.88
12	604639.88
13	604639.88
Atap	459892.24
Total Struktur	8550088.25

Dari tabel tersebut menunjukkan total beban mati dan beban hidup sebesar **8550088.25** kg.

Pembebanan yang diinputkan pada program bantu analisa struktur haruslah mendekati yang telah di hitung secara manual sehingga pembebanan pada program bantu tersebut dapat

dikatakan benar. Hasil perbandingan analisa program bantu dengan perhitungan manual tidak boleh melebihi batasan 5%.

Berdasarkan hasil program bantu analisa struktur didapatkan total beban mati (DEAD dan DEAD++) dan beban hidup dengan kombinasi 1D+1L yaitu sebesar **8602812 kg**.

Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

$$W_{\text{total Manual}} = 8550088 \text{ kg}$$

$$W_{\text{total Program}} = 8602812 \text{ kg}$$

Selisih perhitungan manual dengan program bantu = $1\% < 5\%$. Jadi dapat dikatakan bahwa pembebanan gravitasi pada program bantu analisa struktur telah **sesuai**.

4.2.3 Pembebanan Gempa Dinamis

Perencanaan struktur Gedung Apartemen Purimas Surabaya ini terdiri dari 14 tingkat yang memiliki ketinggian total 43,3 m. Perhitungan beban gempa pada struktur ini ditinjau dengan pengaruh gempa dinamik sesuai SNI 1726:2012. Analisis dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan.

4.2.3.1 Permodelan Pelat sebagai Diafragma

Sesuai SNI 1726:2012 Pasal 7.3.1.2 bahwa diafragma pelat beton yang diberi penutup (*topping*) beton pada saat menerima beban gempa dapat berfungsi sebagai penyalur beban gempa pada struktur primer atau dapat diidealisasikan sebagai diafragma kaku. Dalam hal ini HCS di berikan *topping* pada proses pemasangannya, maka termasuk diafragma kaku.

4.2.3.2 Arah Pembebanan

Arah pembebanan gempa dalam kenyataannya adalah sembarang, sehingga pada umumnya selalu terdapat 2 komponen beban gempa dalam arah masing-masing sumbu. Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.5.4 dimana gaya gempa desain diijinkan diterapkan secara terpisah pada masing-masing arah dari dua arah ortogonal dimana pengaruh efektif pembebanan gempa 100% terjadi pada arah utama gempa rencana dan bersamaan terjadi

pengaruh pembebanan gempa dengan efektifitas 30% arah tegak lurusnya.

4.2.3.3 Faktor Keutamaan (I) dan Kategori Risiko

Berdasarkan Tabel 2.7, dan Tabel 2.8 maka apartemen masuk kategori resiko II dengan nilai faktor keutamaan (I) = 1.0.

4.2.3.4 Kelas Situs

Dengan memasukkan nilai SPT tanah yang terlampir hingga kedalaman 30 meter dengan interval 2 meter diperoleh nilai $N_{rata-rata}$ sebesar 2.5166. Kemudian dari nilai $N_{rata-rata}$ dapat diklasifikasikan pada Gambar 2.2 dimana tanah termasuk kategori SE (tanah lunak) karena $N < 15$. Perhitungan nilai $N_{rata-rata}$ ditunjukkan pada Tabel 4. 2 berikut.

Tabel 4. 2 Perhitungan $N_{rata-rata}$

Kedalaman (m)	N	Tebal (m)	N
2	31	2	0.0645
4	1	2	2
6	1	2	2
8	1	2	2
10	1	2	2
12	1	2	2
14	2	2	1
16	17	2	0.1176
18	20	2	0.1
20	20	2	0.1
22	19	2	0.1053
24	18	2	0.1111
26	18	2	0.1111
28	20	2	0.1
30	18	2	0.1111
Total		30	11.9208
N rata-rata			2.5166

4.2.3.5 Parameter Respon Spektrum Rencana

Dalam perencanaan bangunan, ada beberapa metode perhitungan pengaruh gempa, satu di antaranya adalah *response spectrum*. Gempa merupakan getaran yang tentu saja memiliki parameter-parameter sebuah getaran, seperti frekuensi, periode, spektrum dan parameter lainnya. Dalam hal ini informasi *response spectrum* merupakan fungsi spektra percepatan gempa (S) terhadap rentang waktu selama periode gempa berlangsung (T). Perhitungan gaya gempa menggunakan analisis dinamik sesuai persyaratan SNI 1726:2012..

- a. Perhitungan Koefisien Situs F_a dan F_v

Berdasarkan Gambar 2.8 dan 2.9 percepatan batuan dasar kota Surabaya untuk kategori tanah lunak ($N < 50$) adalah $S_s = 0.665g$ dan $S_1 = 0.250g$.

Penentuan nilai F_a ditentukan berdasarkan Tabel 2.3 dengan menginterpolasi S_s untuk kelas situs kategori SE antara $S_s = 0.75$ dan $S_s = 1$.

$$\begin{aligned} \frac{S_s - S_{s1}}{S_{s2} - S_{s1}} &= \frac{F_a - F_{a1}}{F_{a2} - F_{a1}} \\ F_a &= \left[\left(\frac{S_s - S_{s1}}{S_{s2} - S_{s1}} \right) (F_{a2} - F_{a1}) \right] + F_{a1} \\ &= \left[\left(\frac{0.665 - 0.5}{0.75 - 0.5} \right) (1.2 - 1.7) \right] + 1.7 \\ &= 1.37 \end{aligned}$$

Penentuan nilai F_v ditentukan berdasarkan Tabel 2.4 dengan menginterpolasi S_1 untuk kelas situs kategori SE antara $S_1 = 0.2$ dan $S_1 = 0.3$.

$$\frac{S_1 - S_{11}}{S_{12} - S_{11}} = \frac{F_v - F_{v1}}{F_{v2} - F_{v1}}$$

$$\begin{aligned}
 F_v &= \left[\left(\frac{S_{12} - S_{11}}{S_{12} - S_{11}} \right) (F_{v2} - F_{v1}) \right] + F_{v1} \\
 &= \left[\left(\frac{0.25 - 0.2}{0.3 - 0.2} \right) (2.8 - 3.2) \right] + 3.2 \\
 &= 3
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Parameter Respon Percepatan

Nilai S_{MS} dan S_{M1} dihitung dengan persamaan 2.10 dan 2.11.

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1.37 \times 0.665 = 0.91$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 3 \times 0.250 = 0.75$$

c. Perhitungan Parameter Spektral Desain

Nilai S_{DS} dan S_{D1} dihitung dengan persamaan 2.12 dan 2.13.

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0.91 = 0.61$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 2/3 \times 0.75 = 0.5$$

d. Penentuan Respon Spektrum Desain

Untuk membuat Respon Spektrum Desain, diperlukan parameter T_0 dan T_s yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.16 dan 2.17 dimana batasannya diatur pada persamaan 2.15, Perhitungannya sebagai berikut:

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \frac{0.4998}{0.6074} = 0.165$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.4998}{0.604} = 0.823$$

a. Untuk $T < T_0$, maka bila $T = 0$ diperoleh:

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \\
 &= 0.6074 \left(0.4 + 0.6 \frac{0}{0.165} \right) \\
 &= 0.243
 \end{aligned}$$

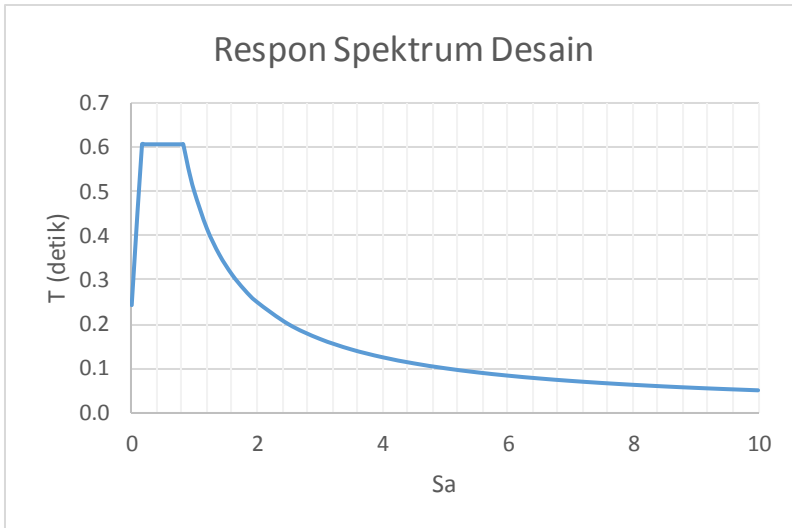
b. Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$

$$S_a = S_{DS} = 0.243$$

c. Untuk $T > T_s$

Nilai S_a diperoleh dengan persamaan 2.18.

Dengan memplotkan nilai S_a dan T , maka diperoleh Respon Spektrum Desain untuk Tanah Lunak di daerah Surabaya seperti pada **Gambar 4.17** berikut.



Gambar 4. 17 Grafik Spektral Percepatan Gempa Wilayah Surabaya Tanah Lunak

Tabel 4. 3 Rekapitulasi Parameter Respon Gempa Surabaya untuk Kelas Situs E (Tanah Lunak)

S_s (g)	0.665
S_1 (g)	0.250
F_A	1.370
F_V	3.00
S_{MS} (g)	0.910
S_{M1} (g)	0.750
S_{DS} (g)	0.610
S_{D1} (g)	0.500
T_0 (detik)	0.165
T_s (detik)	0.823

4.2.3.6 Faktor Skala Pembebanan Dinamis

Pada tugas akhir ini, gedung perkantoran direncanakan menggunakan sistem rangka baja dengan sistem eksentris. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726:2012 diperoleh nilai- nilai batasan yaitu:

Tabel 4. 4 R^a , Ω_0 , C_d untuk sistem penahan gempa

Sistem Rangka Bangunan	R^a	Ω_0	C_d^b	B	C	D	E	F
Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30

Berdasarkan Tabel 4. 44 tersebut didapatkan :

$$R = 8$$

$$C_d = 4$$

- Untuk 100% pembebanan gempa
 $100\% \times g \times (I/R)$
 $1 \times 9.81 \times (1/8) = 1.23$
- Untuk 30% pembebanan gempa
 $30\% \times g \times (I/R)$
 $0.3 \times 9.81 \times (1/8) = 0.37$

4.2.4 Kombinasi Pembebanan

Setelah memperhitungkan beban akibat gempa dan gravitasi, maka seluruh beban tersebut dihitung dengan faktor kombinasi yang mengacu pada SNI 03-1729-2002 sebagai berikut::

- 1,4 DL
- 1,2 DL + 1,6 LL
- 1,2 DL + 0,5 LL $\pm \Omega E$
- 0,9 DL $\pm \Omega E$

Keterangan :

DL : Beban mati

LL : Beban hidup

E : Beban gempa yang dinyatakan dalam 2 arah

Ω : Faktor kuat cadang struktur sebesar 2,8 sesuai tabel 15.2-1 SNI 03-1729-2002 untuk struktur rangka bresing eksentrik.

4.2.5 Analisis Struktur

Hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan- batasan tertentu untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Kontrol- kontrol tersebut adalah sebagai berikut:

- Kontrol partisipasi massa
- Kontrol waktu getar alami fundamental
- Kontrol nilai akhir respon spektrum
- Kontrol batas simpangan (*drift*)

Dari hasil analisis struktur, dipilih gaya dalam maksimum yang terjadi pada masing- masing elemen struktur sebagai kontrol kapasitas penampang.

4.2.5.1 Kontrol Partisipasi Massa

Untuk mendapatkan hasil analisis struktur yang baik, analisis yang dilakukan harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi minimal 90% dari massa aktual dari masing-masing arah horizontal orthogonal dari respon yang ditinjau (SNI 1726:2012 pasal 7.9.1). Pada perhitungan dengan menggunakan bantuan program SAP2000 untuk mendapatkan hasil partisipasi massa seperti pada tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4. 5 Rasio Partisipasi Massa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.75	4.723E-11	3.89E-10
MODAL	Mode	2	0.75	0.747	8.789E-10
MODAL	Mode	3	0.75	0.747	8.405E-07
MODAL	Mode	4	0.904	0.747	0.000000844
MODAL	Mode	5	0.904	0.908	8.441E-07
MODAL	Mode	6	0.904	0.908	0.000006116
MODAL	Mode	7	0.95	0.908	0.000006119
MODAL	Mode	8	0.95	0.953	0.000006125
MODAL	Mode	9	0.97	0.953	0.000006134
MODAL	Mode	10	0.97	0.954	0.000009506
MODAL	Mode	11	0.97	0.973	0.000009506
MODAL	Mode	12	0.981	0.973	0.000009542

Dari tabel 4.5 di atas didapat partisipasi massa arah X sebesar 90.4% pada moda ke 4 dan partisipasi massa arah Y sebesar 90.8% pada moda ke 5. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI-1726:2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

4.2.5.2 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai periode fundamental T , struktur harus dibatasi. Perkiraan periode alami fundamental (T_a) dalam detik, harus ditentukan seperti berikut:

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

$$x = 0.75 \text{ (berdasarkan tabel 2.6)}$$

$$C_t = 0.0731 \text{ (berdasarkan tabel 2.6)}$$

$$h_n = 43.3 \text{ m (tinggi struktur gedung)}$$

$$T_a = C_t \times h_n^x = 0.0731 \times 43.3^{0.75} = 1.234 \text{ detik}$$

Sehingga, periode struktur yang diijinkan adalah

$$T = T_a \times C_u$$

$$C_u = 1.4 \text{ (berdasarkan tabel 2.5)}$$

$$T_{max} = T_a \times C_u = 1.234 \times 1.4 = 1.728 \text{ detik}$$

Tabel 4. 6 Periode dan Frekuensi Struktur

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	1.709049	0.43686	2.7449	7.5344
MODAL	Mode	2	1.511542	0.47359	2.9756	8.8544
MODAL	Mode	3	1.455246	0.68717	4.3176	18.642
MODAL	Mode	4	0.752228	1.3294	8.3528	69.769
MODAL	Mode	5	0.693606	1.4417	9.0587	82.06
MODAL	Mode	6	0.482522	2.0724	13.022	169.56
MODAL	Mode	7	0.399093	2.5057	15.744	247.86
MODAL	Mode	8	0.362494	2.7587	17.333	300.44
MODAL	Mode	9	0.267322	3.7408	23.504	552.45
MODAL	Mode	10	0.250262	3.9958	25.106	630.33
MODAL	Mode	11	0.244887	4.0835	25.657	658.31
MODAL	Mode	12	0.198531	5.037	31.648	1001.6

Dari tabel tersebut didapat periode maksimum $T_c = 1.7$ detik. Maka berdasarkan kontrol waktu getar alami fundamental

nilai periode tersebut lebih besar dari periode struktur yang diijinkan ($T_c < C_u \cdot T_a$). Jadi, analisis struktur apartemen Purimas Surabaya menggunakan $T = 1.7$ detik.

4.2.5.3 Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Jika kombinasi respons untuk gaya geser dasar ragam dinamik (V_t) lebih kecil 85% dari gaya geser dasar statik (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya gempa harus dikalikan dengan $0,85V/V_t$ (SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1)

Rumus geser statik adalah:

$$V = C_s \cdot W \quad (\text{SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1})$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I} = \frac{0.61}{8/1} = 0.076$$

Nilai tidak boleh lebih dari:

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0.5}{1.7 \times \left(\frac{8}{1}\right)} = 0.034 < 0.125$$

Dan tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned} C_{s \min} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e > 0.01 \\ &= 0,044 \times 0.61 \times 1 > 0.01 \\ &= 0.0268 > 0.01 \end{aligned}$$

$$C_{s \min} < C_s < C_{s \max}$$

$$0.0268 < 0.076 > 0.034$$

Maka yang dipakai $C_s = 0.034$

Jika nilai $S_1 \geq 0,6g$, maka nilai C_s diperoleh dengan menggunakan persamaan: $C_s = \frac{0,5 S_1}{(R/I)}$

Syarat:

$$S_1 \geq 0.6g$$

$$0.25 < 5.886 \text{ (Rumus tidak dipakai)}$$

Sehingga, $C_s = 0.027$

Berdasarkan perhitungan manual pada subbab 4.2.2 yang telah dilakukan, diperoleh berat total struktur apartemen Purimas Surabaya adalah 8550088 kg.

$$\begin{aligned} V_{\text{statik}} &= C_s \cdot W \\ &= 0.034 \times 8550088 \text{ kg} \\ &= 230852.38 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 didapatkan nilai gaya geser dasar (base shear) sebagai berikut :

Tabel 4. 7 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	Kgf	Kgf
QUAKE X	LinRespSpec	Max	187128.5	59953.08
QUAKE Y	LinRespSpec	Max	56290.69	199303.48

Kontrol Nilai akhir Respon Spektrum :

- Arah X

$$V_{\text{dinamik}} \geq 0.85V_{\text{statik}}$$

$$187128.5 \text{ kg} \geq 0.85 \times 230852.38 \text{ kg}$$

$$187128.5 \text{ kg} < 196224.52 \text{ kg} \dots \text{Not OK}$$

maka perlu dikalikan faktor skala.

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0.85V_s}{V_d} = \frac{196224.52}{187128.5} = 1.04$$

- Arah Y

$$V_{\text{dinamik}} \geq 0.85V_{\text{statik}}$$

$$199303.5 \text{ kg} \geq 0.85 \times 230852.38 \text{ kg}$$

$$199303.5 \text{ kg} \geq 196224.52 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

maka tidak perlu dikalikan faktor skala.

Gaya gempa dari respon spektrum dinamik yang sudah dikalikan faktor skala ini yang akan digunakan pada perencanaan selanjutnya.

4.2.5.4 Kontrol Batas Simpangan (*Drift*)

Perhitungan simpangan antar lantai (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi didasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat diatasnya.

Δ_s dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik diatas dan dibawah tingkat yang letaknya segaris secara vertikal. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \leq \Delta_a$$

Dimana:

δ_{xe} = defleksi pada lantai ke- x yang ditentukan dengan analisis elastis

C_d = faktor pembesaran defleksi (4)

I_e = faktor keutamaan gedung (1,0)

$\Delta_a = 0,020h_{sx}$

ρ = Faktor redudansi (1,0)

Tabel 4. 8 Kontrol Simpangan Antar Lantai akibat Gempa X

Lantai	hi (mm)	w /AE (mm)	w /AE (mm)	4 (mm)	4 (mm)	4 OE (mm)	Cek 4 G4 O
14 (Atap)	3000	50.6	202.4	9.6	60	60	OK
13	3000	48.2	192.8	10.8	60	60	OK
12	3000	45.5	182	12.4	60	60	OK
11	3000	42.4	169.6	13.6	60	60	OK
10	3000	39	156	14.4	60	60	OK
9	3000	35.4	141.6	15.2	60	60	OK
8	3000	31.6	126.4	15.6	60	60	OK
7	3000	27.7	110.8	16.4	60	60	OK
6	3000	23.6	94.4	16.4	60	60	OK
5	3000	19.5	78	16.4	60	60	OK
4	3000	15.4	61.6	16.4	60	60	OK
3	3000	11.3	45.2	16	60	60	OK
2	3000	7.3	29.2	14.8	60	60	OK
1	4300	3.6	14.4	14.4	86	86	OK

Tabel 4. 9 Kontrol Simpangan Antar Lantai akibat Gempa Y

Lantai	hi	w / E	w / E	4	4	4 / E	Cek
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	4 G4 / E
14 (Atap)	3000	47.6	190.4	9.2	60	60	OK
13	3000	45.3	181.2	10.4	60	60	OK
12	3000	42.7	170.8	12	60	60	OK
11	3000	39.7	158.8	12.8	60	60	OK
10	3000	36.5	146	13.6	60	60	OK
9	3000	33.1	132.4	14.4	60	60	OK
8	3000	29.5	118	14.8	60	60	OK
7	3000	25.8	103.2	15.2	60	60	OK
6	3000	22	88	15.6	60	60	OK
5	3000	18.1	72.4	15.2	60	60	OK
4	3000	14.3	57.2	14.8	60	60	OK
3	3000	10.6	42.4	14.8	60	60	OK
2	3000	6.9	27.6	14	60	60	OK
1	4300	3.4	13.6	13.6	86	86	OK

4.2.6 Perbandingan Analisa Struktur

Berikut adalah perbandingan hasil analisa struktur SRPE dan STF pada program bantu meliputi partisipasi massa, periode fundamental struktur, respon spektrum, dan simpangan antar lantai.

Tabel 4. 10 Perbandingan Analisa Struktur SRPE dan STF

Analisa	SRPE	STF	Keterangan
Periode fundamental struktur maksimum	1.7 detik	1.526 detik	
Gaya geser dasar	1871.29 kN	3666 kN	Arah X
	1993.03 kN	3882.33 kN	Arah Y
Simpangan maksimum	16.4 mm	33.84 mm	Arah X
	15.6 mm	32.92 mm	Arah Y

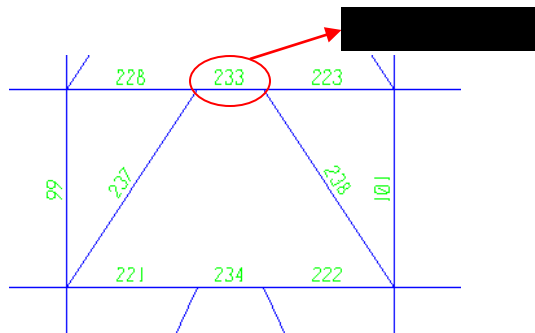
4.3 Perencanaan Elemen Struktur Primer

Perencanaan Struktur Primer yang akan dibahas pada subbab ini meliputi perencanaan *link*, balok di luar *link*, bresing, balok induk, dan kolom. Perencanaan tersebut menggunakan hasil dari analisa program bantu struktur dan dikontrol sesuai ketentuan perencanaan struktur berdasarkan **SNI 1729:2015**.

4.3.1 Perencanaan *Link*

4.3.1.1 *Link* Arah X

Pada perencanaan *link* arah sumbu X dipilih elemen *link* yang menerima gaya paling maksimum yaitu pada elemen 233 di lantai 2.



Gambar 4. 18 Elemen *Link* Arah X

Hasil analisa program bantu struktur untuk *link* arah sumbu X yang paling maksimum dengan kombinasi $1.2 D + 0.5 L + QX$ adalah sebagai berikut :

V_u	= 35905.7	kg	e	= 100 cm
M_u	= 21684.9	kgm	tinggi	= 300 cm
Δe	= 3.6	mm	bentang	= 500 cm

Pada *link* arah sumbu X direncanakan menggunakan profil WF 400 × 200 × 8 × 13 dengan data profil sebagai berikut:

W	= 65.4	kg/m	I _x	= 23460	cm ⁴
d	= 400	mm	I _y	= 1736	cm ⁴
b	= 200	mm	i _x	= 16.8	cm
t _f	= 13	mm	i _y	= 4.56	cm
t _w	= 8	mm	S _x	= 1173	cm ³
r	= 13	mm	S _y	= 174	cm ³
A	= 112	cm ²	Z _x	= 1313	cm ³
h	= d-2(t _f +r)		Z _y	= 267	cm ³
	= 348	mm			

Profil baja BJ41 ; f_y = 250 MPa = 2549.29 kg/cm²
 E = 200000 MPa = 2039432 kg/cm²

- Kontrol Penampang

Pelat sayap

$$\lambda = \frac{b}{2.t_f} = \frac{200}{2 \times 13} = 7.69$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10.75$$



Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{348}{8} = 43.5$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 3.76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106.35$$



Karena penampang kompak, maka

$$N_y = f_y \times A_g = 285520 \text{ kg}$$

$$0.15N_y = 0.15 \times 430830 = 64624.5 \text{ kg} > N_u = 0 \text{ kg}$$

$0.15N_y > N_u$, sehingga berdasarkan SNI03-1729-2002 Pasal 15.13.2.5, pengaruh gaya aksial pada kuat geser rencana link tidak diperhitungkan.

- Kontrol Kuat Geser

$$\begin{aligned} V_p &= 0.6 f_y (d - 2t_p) t_w \\ &= 0.6 \times 2549.29 \times (40 - 2 \times 1.3) \times 0.8 \\ &= 45764.9 \text{ kg} \\ M_{px} &= Z_x f_y = 1313 \times 2549.29 = 3347218 \text{ kgcm} \\ M_{py} &= 1.5 S_x f_y = 1.5 \times 1173 \times 2549.29 = 4485476 \text{ kgcm} \\ M_p &= 3347218 \text{ kgcm} \\ 2M_p/e &= 2 \frac{3347218}{100} = 66944.4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Karena $V_p < 2M_p/e$, maka

$$\begin{aligned} V_n &= V_p = 45764.9 \text{ kg} \\ \phi V_n &= 0.9 \times 45764.9 = 41188.4 \text{ kg} \\ \phi V_n &> V_u = 35905.7 \text{ kg} \dots \mathbf{OK} \end{aligned}$$

- Kontrol Sudut Rotasi Link

$$\begin{aligned} 1,6 \cdot M_p / V_p &= 1,6 \times 3347218 / 45764.9 = 117.02 \text{ cm} \\ 2,6 \cdot M_p / V_p &= 2,6 \times 3347218 / 45764.9 = 190.16 \text{ cm} \\ e &= 100 \text{ cm} < 1,6 \cdot M_p / V_p \\ \text{Karena } e &< 1,6 \cdot M_p / V_p, \text{ berdasarkan SNI 03-1729-2002} \\ \text{Pasal 15.13.2.7 } \alpha_{maks} &= 0,08 \text{ radian} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta p &= C_d \cdot \Delta e = 4 \cdot 3.6 \text{ mm} = 14.4 \text{ mm} \\ \phi &= \frac{\Delta p}{\frac{h}{300}} = \frac{14.4}{300} = 0.0048 \\ \alpha &= \left(\frac{L}{e} \right) \cdot \phi = \left(\frac{500}{100} \right) \cdot 0.0048 = 0,024 \text{ radian} \\ \alpha &< \alpha_{maks} = 0.08 \text{ radian} \dots \mathbf{OK} \end{aligned}$$

4.3.1.2 Pengaku *Link* Arah X

Berdasarkan SNI03-1729-2002 Pasal 15.13.3.1, Dtitik pertemuan dengan batang bresing pada *link*, harus dipasang pengaku setinggi badan *link* dan berada di kedua sisi pelat badan *link*. Pengaku tersebut harus mempunyai lebar total tidak kurang dari $(b_f - 2t_f)$ dan ketebalan yang tidak kurang dari nilai terbesar antara $0,75t_w$ atau 10 mm, b_f dan t_w merupakan lebar pelat sayap dan tebal pelat badan *link*.

Lebar pengaku *link* minimal sebagai berikut:

$$b_f - 2t_f = 200 - 2 \times 13 = 174 \text{ mm}$$

Tebal pengaku *link* minimal sebagai berikut:

$$0,75t_w = 0,75 \times 8 = 6 \text{ mm} < 10 \text{ mm, pakai } t = 10 \text{ mm}$$

Untuk pengaku dengan panjang *link* $< 1,6 \cdot M_p / V_p$, harus direncanakan memiliki pengaku dengan batasan jarak sebagai berikut:

Untuk $\alpha = 0,08$ radian

$$S = 30 \cdot t_w - d/5 = 30 \times 8 - 400/5 = 160 \text{ mm}$$

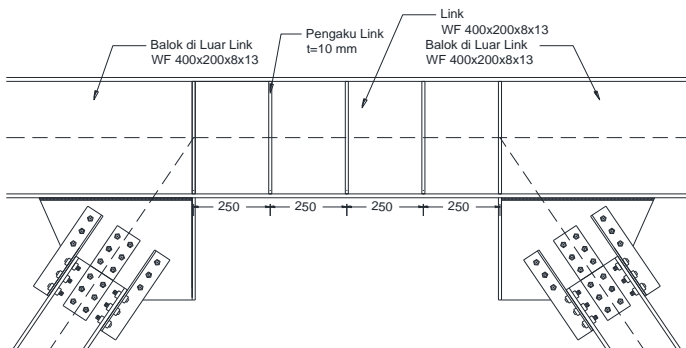
Untuk $\alpha = 0,02$ radian

$$S = 52 \cdot t_w - d/5 = 52 \times 8 - 400/5 = 336 \text{ mm}$$

Untuk $\alpha = 0,024$ radian, maka harus diinterpolasi

$$S = 336 - \left(\frac{0,024 - 0,02}{0,08 - 0,02} \right) \cdot (336 - 160) = 324,27 \text{ mm}$$

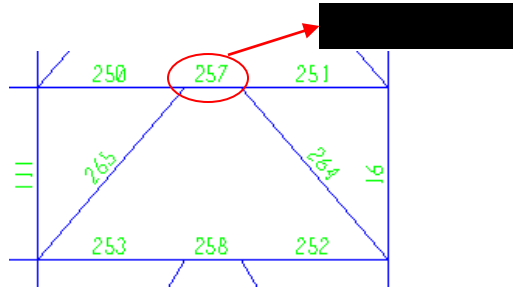
Dipasang pengaku *link* dengan jarak 250 mm = 25 cm.



Gambar 4. 19 Elemen Link dan Pengaku

4.3.1.3 Link Arah Y

Pada perencanaan *link* arah sumbu Y dipilih elemen *link* yang menerima gaya paling maksimum yaitu pada elemen 257 di lantai 2.



Gambar 4. 20 Elemen *Link* Arah Y

Hasil analisa program bantu struktur untuk *link* arah sumbu Y yang paling maksimum dengan kombinasi 1.2 D + 0.5 L + QY adalah sebagai berikut :

V_u	= 36441.53	kg	e	= 100 cm
M_u	= 20203.75	kgm	tinggi	= 300 cm
Δe	= 3.3	mm	bentang	= 610 cm

Pada *link* arah sumbu Y direncanakan menggunakan profil WF 400 × 200 × 8 × 13 dengan data profil sebagai berikut:

W	= 65.4	kg/m	I_x	= 23460	cm ⁴
d	= 400	mm	I_y	= 1736	cm ⁴
b	= 200	mm	i_x	= 16.8	cm
t_f	= 13	mm	i_y	= 4.56	cm
t_w	= 8	mm	S_x	= 1173	cm ³
r	= 13	mm	S_y	= 174	cm ³
A	= 112	cm ²	Z_x	= 1313	cm ³
h	= $d - 2(t_f + r)$		Z_y	= 267	cm ³
	= 348	mm			

Profil baja BJ41 ; $f_y = 250 \text{ MPa} = 2549.29 \text{ kg/cm}^2$
 $E = 200000 \text{ MPa} = 2039432 \text{ kg/cm}^2$

- Kontrol Penampang

Pelat sayap

$$\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{200}{2 \times 13} = 7.69$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10.75$$



Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{348}{8} = 43.5$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 3.76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106.35$$



Karena penampang kompak, maka

$$N_y = f_y \times A_g = 285520 \text{ kg}$$

$$0.15N_y = 0.15 \times 430830 = 64624.5 \text{ kg} > N_u = 0 \text{ kg}$$

$$0.15N_y > N_u, \text{ sehingga berdasarkan SNI03-1729-2002}$$

Pasal 15.13.2.5, pengaruh gaya aksial pada kuat geser rencana link tidak diperhitungkan.

- Kontrol Kuat Geser

$$V_p = 0.6 f_y (d - 2t_f) t_w$$

$$= 0.6 \times 2549.29 \times (40 - 2 \times 1.3) \times 0.8$$

$$= 45764.9 \text{ kg}$$

$$M_{px} = Z_x f_y = 1313 \times 2549.29 = 3347218 \text{ kgcm}$$

$$M_{px} = 1.5 S_x f_y = 1.5 \times 1173 \times 2549.29 = 4485476 \text{ kgcm}$$

$$M_p = 3347218 \text{ kgcm}$$

$$2M_p/e = 2 \frac{3347218}{100} = 66944.4 \text{ kg}$$

Karena $V_p < 2M_p/e$, maka

$$V_n = V_p = 45764.9 \text{ kg}$$

$$\emptyset V_n = 0.9 \times 45764.9 = 41188.4 \text{ kg}$$

$$\emptyset V_n > V_u = 36441.53 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

- Kontrol Sudut Rotasi Link

$$1,6 \cdot M_p / V_p = 1,6 \times 3347218 / 45764.9 = 117.02 \text{ cm}$$

$$2,6 \cdot M_p / V_p = 2,6 \times 3347218 / 45764.9 = 190.16 \text{ cm}$$

$$e = 100 \text{ cm} < 1,6 \cdot M_p / V_p$$

Karena $e < 1,6 \cdot M_p / V_p$, berdasarkan SNI 03-1729-2002

Pasal 15.13.2.7 $\alpha_{maks} = 0,08 \text{ radian}$

$$\Delta p = C_d \cdot \Delta e = 4 \cdot 3.3 \text{ mm} = 13.2 \text{ mm}$$

$$\phi = \frac{\Delta p}{h} = \frac{13.2}{300} = 0.0044$$

$$\alpha = \left(\frac{L}{e} \right) \cdot \phi = \left(\frac{610}{100} \right) \cdot 0.0044 = 0,027 \text{ radian}$$

$$\alpha < \alpha_{maks} = 0.08 \text{ radian} \dots \text{OK}$$

4.3.1.4 Pengaku *Link* Arah Y

Berdasarkan SNI03-1729-2002 Pasal 15.13.3.1, Dititik pertemuan dengan batang bresing pada *link*, harus dipasang pengaku setinggi badan *link* dan berada di kedua sisi pelat badan *link*. Pengaku tersebut harus mempunyai lebar total tidak kurang dari $(b_f - 2t_f)$ dan ketebalan yang tidak kurang dari nilai terbesar antara $0,75t_w$ atau 10 mm, b_f dan t_w merupakan lebar pelat sayap dan tebal pelat badan *link*.

Lebar pengaku *link* minimal sebagai berikut:

$$b_f - 2t_f = 200 - 2 \times 13 = 174 \text{ mm}$$

Tebal pengaku *link* minimal sebagai berikut:

$$0.75t_w = 0.75 \times 8 = 6 \text{ mm} < 10 \text{ mm, pakai } t = 10 \text{ mm}$$

Untuk pengaku dengan panjang $link < 1,6 \cdot M_p / V_p$, harus direncanakan memiliki pengaku dengan batasan jarak sebagai berikut:

Untuk $\alpha = 0,08$ radian

$$S = 30 \cdot t_w - d/5 = 30 \times 8 - 400/5 = 160 \text{ mm}$$

Untuk $\alpha = 0,02$ radian

$$S = 52 \cdot t_w - d/5 = 52 \times 8 - 400/5 = 336 \text{ mm}$$

Untuk $\alpha = 0.027$ radian, maka harus diinterpolasi

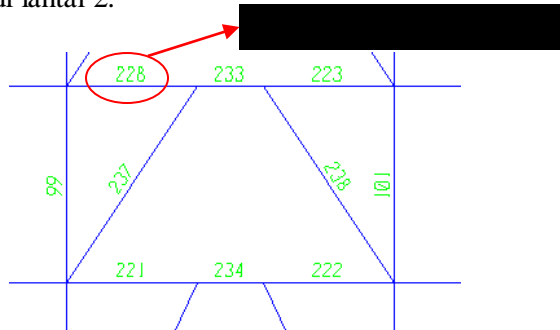
$$S = 336 - \left(\frac{0.027 - 0.02}{0.08 - 0.02} \right) \cdot (336 - 160) = 315.59 \text{ mm}$$

Dipasang pengaku $link$ dengan jarak 250 mm = 25 cm.

4.3.2 Perencanaan Balok di Luar *Link*

4.3.2.1 Balok di Luar *Link* Arah X

Pada perencanaan balok di luar *link* arah sumbu X dipilih elemen *link* yang menerima gaya paling maksimum yaitu pada elemen 228 di lantai 2.



Gambar 4. 21 Elemen Balok di Luar *Link* Arah X

Hasil analisa program bantu struktur untuk balok di luar *link* arah sumbu X yang paling maksimum dengan kombinasi 1.2 D + 0.5 L + QX adalah sebagai berikut :

$$V_u = 35905.66 \quad \text{kg} \quad \text{Panjang balok} = 200 \text{ cm}$$

$$M_u = 21684.87 \quad \text{kgm}$$

Pada balok di luar *link* arah sumbu X direncanakan menggunakan profil WF 400 × 200 × 8 × 13 dengan data profil sebagai berikut:

W	= 65.4	kg/m	I _x	= 23460	cm ⁴
d	= 400	mm	I _y	= 1736	cm ⁴
b	= 200	mm	i _x	= 16.8	cm
t _f	= 13	mm	i _y	= 4.56	cm
t _w	= 8	mm	S _x	= 1173	cm ³
r	= 13	mm	S _y	= 174	cm ³
A	= 112	cm ²	Z _x	= 1313	cm ³
h	= d-2(t _f +r)		Z _y	= 267	cm ³
	= 348	mm			

Profil baja BJ41 ; f_y = 250 MPa = 2549.29 kg/cm²

E = 200000 MPa = 2039432 kg/cm²

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 Pasal 15.13.6.2, kuat perlu balok yang terletak diluar *link* harus ditentukan berdasarkan gaya-gaya yang ditimbulkan paling tidak 1,1 kali kuat geser nominal *link* sebesar R_y.V_n.

$$\begin{aligned} V_p &= 0.6 f_y (d - 2t_f) t_w \\ &= 0.6 \times 2549.29 \times (40 - 2 \times 1.3) \times 0.8 \\ &= 45764.9 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$M_{px} = Z_x f_y = 1313 \times 2549.29 = 3347218 \text{ kgcm}$$

$$M_{px} = 1.5 S_x f_y = 1.5 \times 1173 \times 2549.29 = 4485476 \text{ kgcm}$$

$$M_p = 3347218 \text{ kgcm}$$

$$2M_{p/e} = 2 \frac{3347218}{100} = 66944.4 \text{ kg}$$

Karena $V_p < 2M_{p/e}$, maka

$$V_n = V_p = 45764.9 \text{ kg}$$

$$\text{Sehingga, } V_u = 1.1 \times R_y \times V_n$$

$$= 1.1 \times 1.5 \times 45764.9 = 75512.01 \text{ kg}$$

- Kontrol Penampang

Pelat sayap

$$\lambda = \frac{b}{2.t_f} = \frac{200}{2 \times 13} = 7.69$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10.75$$

Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{348}{8} = 43.5$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 3.76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106.35$$

Karena penampang kompak, maka

$$M_n = Z_x \times f_y$$

$$= 1313 \times 2549.29 = 3347218 \text{ kg.cm}$$

- Kapasitas Momen Penampang

$L_b = 200 \text{ cm}$ (panjang balok)

$$L_p = 1.76 . i_y . \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 4.56 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 227 \text{ cm}$$

$L_b < L_p = \text{bentang pendek}$, sehingga :

$$M_n = M_p = 3347218 \text{ kg.cm}$$

$$\phi_b . M_n = 0.9 \times 3347218$$

$$= 3012496 \text{ kg.cm} = 30124.96 \text{ kgm}$$

- Kapasitas Geser Penampang

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{348}{8} = 43.5$$

$$a = 200 \text{ cm} = 2000 \text{ mm}$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} = 5 + \frac{5}{(2000/348)^2} = 5.15$$

$$1,1 \cdot \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{5,15 \cdot 2000000}{2500}} = 70.61$$

$$\lambda \leq 1,1 \cdot \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \rightarrow 43.5 < 70.61 \text{ (plastis)}$$

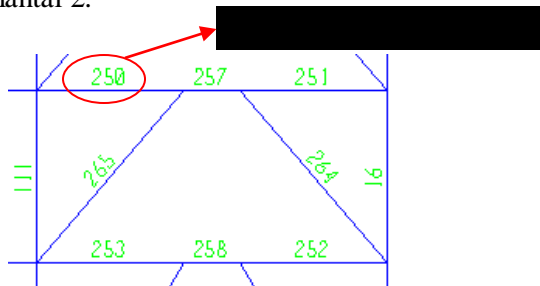
$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 f_y A_w \cdot C_v \\ &= 0,6 \times 2549.29 \times (40 \times 0.8) \times 1 = 80761.51 \text{ kg} \\ \phi V_n &= 0,9 \times 80761.51 \text{ kg} = 72685.36 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Kontrol interaksi geser lentur

$$\begin{aligned} \frac{Mu}{\phi \cdot Mn} + 0,625 \frac{Vu}{\phi \cdot Vn} &\leq 1,375 \\ \frac{21684.87}{30124.96} + 0,625 \frac{75512.01}{72685.36} &\leq 1,375 \\ 1,369 &\leq 1,375 \text{ ...OK} \end{aligned}$$

4.3.2.2 Balok di Luar *Link* Arah Y

Pada perencanaan balok di luar *link* arah sumbu Y dipilih elemen *link* yang menerima gaya paling maksimum yaitu pada elemen 250 di rantai 2.



Gambar 4. 22 Elemen Balok di Luar *Link* Arah Y

Hasil analisa program bantu struktur untuk balok di luar *link* arah sumbu Y yang paling maksimum dengan kombinasi $1.2 D + 0.5 L + QY$ adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_u &= 36441.53 \quad \text{kg} & \text{Panjang balok} &= 225 \text{ cm} \\ \mu &= 20203.75 \quad \text{kgm} \end{aligned}$$

Pada balok di luar *link* arah sumbu Y direncanakan menggunakan profil WF 400 × 200 × 8 × 13 dengan data profil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W &= 65.4 \quad \text{kg/m} & I_x &= 23460 \quad \text{cm}^4 \\ d &= 400 \quad \text{mm} & I_y &= 1736 \quad \text{cm}^4 \\ b &= 200 \quad \text{mm} & i_x &= 16.8 \quad \text{cm} \\ t_f &= 13 \quad \text{mm} & i_y &= 4.56 \quad \text{cm} \\ t_w &= 8 \quad \text{mm} & S_x &= 1173 \quad \text{cm}^3 \\ r &= 13 \quad \text{mm} & S_y &= 174 \quad \text{cm}^3 \\ A &= 112 \quad \text{cm}^2 & Z_x &= 1313 \quad \text{cm}^3 \\ h &= d - 2(t_f + r) & Z_y &= 267 \quad \text{cm}^3 \\ &= 348 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

$$\text{Profil baja BJ41 ; } f_y = 250 \text{ MPa} = 2549.29 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 200000 \text{ MPa} = 2039432 \text{ kg/cm}^2$$

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 Pasal 15.13.6.2, kuat perlu balok yang terletak diluar *link* harus ditentukan berdasarkan gaya-gaya yang ditimbulkan paling tidak 1,1 kali kuat geser nominal *link* sebesar $R_y \cdot V_n$.

$$\begin{aligned} V_p &= 0.6 f_y (d - 2t_f) t_w \\ &= 0.6 \times 2549.29 \times (40 - 2 \times 1.3) \times 0.8 \\ &= 45764.9 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$M_{px} = Z_x f_y = 1313 \times 2549.29 = 3347218 \text{ kgcm}$$

$$M_{px} = 1.5 S_x f_y = 1.5 \times 1173 \times 2549.29 = 4485476 \text{ kgcm}$$

$$M_p = 3347218 \text{ kgcm}$$

$$2M_p/e = 2 \frac{3347218}{100} = 66944.4 \text{ kg}$$

Karena $V_p < 2M_p/e$, maka

$$V_n = V_p = 45764.9 \text{ kg}$$

Sehingga, $V_u = 1,1 \times R_y \times V_n$
 $= 1,1 \times 1,5 \times 45764,9 = 75512,01 \text{ kg}$

- Kontrol Penampang

Pelat sayap

$$\lambda = \frac{b}{2.t_f} = \frac{200}{2 \times 13} = 7,69$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{348}{8} = 43,5$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Karena penampang kompak, maka

$$M_n = Z_x \times f_y$$

$$= 1313 \times 2549,29 = 3347218 \text{ kg.cm}$$

- Kapasitas Momen Penampang

$L_b = 225 \text{ cm}$ (panjang balok)

$$L_p = 1,76 . i_y . \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1,76 \times 4,56 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 227 \text{ cm}$$

$L_b < L_p = \text{bentang pendek}$, sehingga :

$$M_n = M_p = 3347218 \text{ kg.cm}$$

$$\phi_b . M_n = 0,9 \times 3347218$$

$$= 3012496 \text{ kg.cm} = 30124,96 \text{ kgm}$$

- Kapasitas Geser Penampang

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{348}{8} = 43.5$$

$$a = 225 \text{ cm} = 2250 \text{ mm}$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} = 5 + \frac{5}{(2250/348)^2} = 5.09$$

$$1,1 \cdot \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{5,09 \cdot 2000000}{2500}} = 70.21$$

$$\lambda \leq 1,1 \cdot \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \rightarrow 43.5 < 70.21 \text{ (plastis)}$$

$$V_n = 0,6 f_y A_w C_v$$

$$= 0,6 \times 2549.29 \times (40 \times 0.8) \times 1 = 80761.51 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 80761.51 \text{ kg} = 72685.36 \text{ kg}$$

- Kontrol interaksi geser lentur

$$\frac{Mu}{\phi M_n} + 0,625 \frac{Vu}{\phi V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{20203.75}{30124.96} + 0,625 \frac{75512.01}{72685.36} \leq 1,375$$

$$1,32 \leq 1,375 \text{ ...OK}$$

4.3.3 Perencanaan Bresing

4.3.3.1 Bresing Arah X

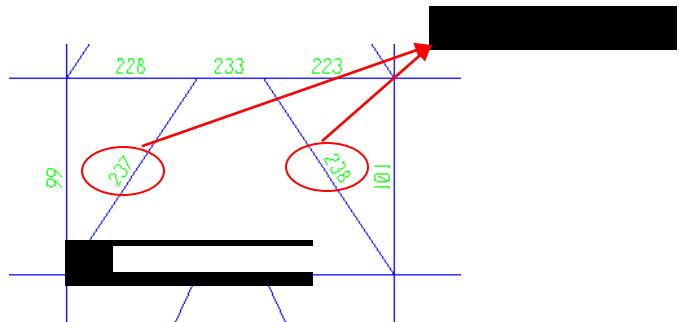
Berdasarkan SNI03-1729-2002 Pasal 15.13.6.1, kuat kombinasi- aksial- dan lentur perlu pada batang bresing harus direncanakan berdasarkan gaya aksial dan momen lentur yang ditimbulkan oleh 1,25 kali kuat geser nominal dari *link* sebesar 1,25 Ry Vn. Kuat rencana batang bresing harus lebih besar dari pada kuat perlu element *link*.

Pada bresing arah sumbu X direncanakan menggunakan profil WF 200 × 200 × 9 × 14 dengan data profil sebagai berikut:

$$W = 57.8 \quad \text{kg/m} \quad I_x = 5603 \quad \text{cm}^4$$

$$d = 204 \quad \text{mm} \quad I_y = 1897 \quad \text{cm}^4$$

b	= 201	mm	ix	= 8.73	cm
tf	= 14	mm	iy	= 5.08	cm
tw	= 9	mm	Sx	= 549	cm ³
r	= 13	mm	Sy	= 189	cm ³
A	= 73.6	cm ²	Zx	= 617	cm ³
h	= d-2(tf+r)		Zy	= 287	cm ³
	= 234	mm			



Gambar 4. 23 Elemen Bresing Arah X

Tinggi portal = 300 cm

Panjang balok luar link = 200 cm

Panjang bresing = $\sqrt{300^2 + 200^2} = 360.56$ cm

$\sin \alpha = 300 / 360.56 = 0.832$

$V_u = 1,25 \cdot R_y \cdot V_n$

$= 1,25 \times 1,5 \times (0.6 \times 2549.29 \times (40 - 2 \times 1.3) \times 0.8)$

$= 85809.1$ kg

$Pu_{\text{tekan}} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{85809.1}{0.832} = 103129.7$ kg

$Pu_{\text{tarik}} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{85809.1}{0.832} = 103129.7$ kg

- Kontrol Penampang

Pelat sayap

$$\lambda = \frac{b}{2.t_f} = \frac{201}{2 \times 14} = 7.18$$

$$\lambda_r = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 15.84$$

Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{150}{9} = 16.67$$

$$\begin{aligned} \lambda_r &= 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 3.76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 42.14 \end{aligned}$$

- Kontrol kekuatan tekan bresing

$$\text{Arah X} = \lambda_x = \frac{L_{kx}}{i_x} = \frac{360.56 \cdot 1}{8.73} = 41.31$$

$$\text{Arah Y} = \lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{360.56 \cdot 1}{5.08} = 70.97$$

$$\lambda \rightarrow \lambda_y = 70.97$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{70.97}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0.799$$

0,25 < λ_c < 1,2 maka:

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0.799} = 1.34$$

$$P_{max} = 1.1 \cdot R_y \cdot A_g / \omega$$

$$= 1.1 \times 1.5 \times 2549.29 \times 135 / 1.34$$

$$= 153686.6 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0.85 \times 153686.6 = 130633.6 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n > P_u = 103129.7 \text{ kg} \quad \dots \text{OK}$$

- Kontrol kekuatan tarik bresing

Kuat Rencana Leleh

$$\begin{aligned} N_n &= F_y \cdot Ag \\ &= 2549.29 \times 73.6 \\ &= 187627.7 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi_c N_n = 0.90 \times 187627.7 = 168865 \text{ kg}$$

Kuat Rencana Putus

$$A_n = 73.6 - (4 \times 0.00285 \times 1.7) = 57.64 \text{ cm}^2$$

$$U = 1 - x/l = 1 - (35/225) = 0.88$$

$$A_e = 0.88 \times 57.64 = 50.72 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} N_n &= F_y \cdot A_e \\ &= 2549.29 \times 50.72 \\ &= 212065.4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi_c N_n = 0.75 \times 212065.4 = 159049 \text{ kg}$$

$$\phi_c N_n > P_u$$

$$159049 \text{ kg} > 103129.7 \text{ kg} \text{ ...OK}$$

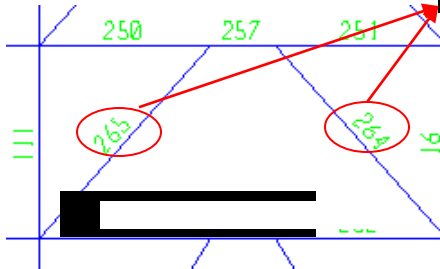
4.3.3.2 Bresing Arah Y

Berdasarkan SNI03-1729-2002 Pasal 15.13.6.1, kuat kombinasi- aksial- dan lentur perlu pada batang bresing harus direncanakan berdasarkan gaya aksial dan momen lentur yang ditimbulkan oleh 1,25 kali kuat geser nominal dari *link* sebesar 1,25 $R_y V_n$. Kuat rencana batang bresing harus lebih besar dari pada kuat perlu element *link*.

Pada bresing arah sumbu Y direncanakan menggunakan profil WF 200 × 200 × 9 × 14 dengan data profil sebagai berikut:

W	= 57.8	kg/m	I _x	= 5603	cm ⁴
d	= 204	mm	I _y	= 1897	cm ⁴
b	= 201	mm	i _x	= 8.73	cm
t _f	= 14	mm	i _y	= 5.08	cm
t _w	= 9	mm	S _x	= 549	cm ³
r	= 13	mm	S _y	= 189	cm ³

$$\begin{aligned}
 A &= 73.6 \text{ cm}^2 & Z_x &= 617 \text{ cm}^3 \\
 h &= d - 2(tf + r) & Z_y &= 287 \text{ cm}^3 \\
 &= 234 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 24 Elemen Bresing Arah Y

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi portal} &= 300 \text{ cm} \\
 \text{Panjang balok luar link} &= 255 \text{ cm} \\
 \text{Panjang bresing} &= \sqrt{300^2 + 255^2} = 393.73 \text{ cm} \\
 \sin \alpha &= 300 / 393.73 = 0.762 \\
 V_u &= 1,25 \cdot R_y \cdot V_n \\
 &= 1,25 \times 1,5 \times (0.6 \times 2549.29 \times (40 - 2 \times 1.3) \times 0.8) \\
 &= 85809.1 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$P_{u \text{ tekan}} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{85809.1}{0.762} = 112619.3 \text{ kg}$$

$$P_{u \text{ tarik}} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{85809.1}{0.762} = 112619.3 \text{ kg}$$

- Kontrol Penampang

Pelat sayap

$$\lambda = \frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{201}{2 \times 14} = 7.18$$

$$\lambda_r = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 15.84$$



Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{150}{9} = 16.67$$

$$\lambda_r = 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 3.76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 42.14$$



- Kontrol kekuatan tekan bresing

$$\text{Arah X} = \lambda_x = \frac{L_{kx}}{i_x} = \frac{393.73 \cdot 1}{8.73} = 45.1$$

$$\text{Arah Y} = \lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{393.73 \cdot 1}{5.08} = 77.51$$

$$\lambda \rightarrow \lambda_y = 77.51$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{77.51}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0.872$$

$0.25 < \lambda_c < 1.2$ maka:

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \lambda_c} = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \cdot 0.872} = 1.41$$

$$P_{max} = 1.1 \cdot F_y \cdot A_g / \omega$$

$$= 1.1 \times 1.5 \times 2549.29 \times 135 / 1.41$$

$$= 146579.2 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0.85 \times 146579.2 = 124592.3 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n > P_u = 112619.3 \text{ kg} \text{ ...OK}$$

- Kontrol kekuatan tarik bresing

Kuat Rencana Leleh

$$N_n = F_y \cdot A_g$$

$$= 2549.29 \times 73.6$$

$$= 187627.7 \text{ kg}$$

$$\phi_c N_n = 0.90 \times 187627.7 = 168865 \text{ kg}$$

Kuat Rencana Putus

$$A_n = 73.6 - (4 \times 0.00285 \times 1.7) = 57.64 \text{ cm}^2$$

$$U = 1 - x/l = 1 - (35/225) = 0.88$$

$$A_e = 0.88 \times 57.64 = 50.72 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} N_n &= F_y \cdot A_e \\ &= 2549.29 \times 50.72 \\ &= 212065.4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi_c N_n = 0.75 \times 212065.4 = 159049 \text{ kg}$$

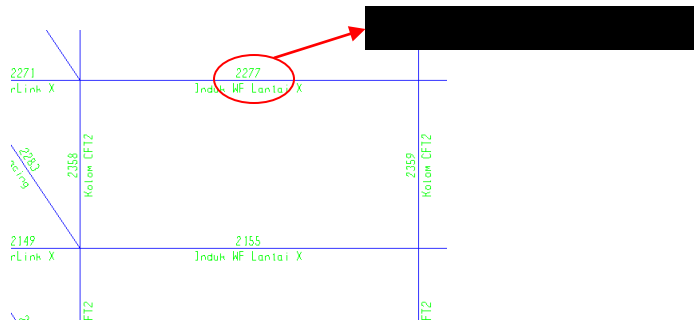
$$\phi_c N_n > P_u$$

$$159049 \text{ kg} > 112619.3 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

4.3.4 Perencanaan Balok Induk

4.3.4.1 Balok Induk Arah X

Pada perencanaan balok induk arah sumbu X dipilih elemen balok induk yang menerima gaya paling maksimum yaitu pada elemen 2399 di lantai 7.



Gambar 4. 25 Elemen Balok Induk Arah X

Hasil analisa program bantu struktur untuk balok di luar *link* arah sumbu X yang paling maksimum dengan kombinasi 1.2 D + 0.5 L + QX adalah sebagai berikut :

$$V_u = 4613.17 \text{ kg} \quad \text{Panjang balok} = 600 \text{ cm}$$

$$\mu = 5302.3 \text{ kgm} \quad f^\circ = 0.085 \text{ cm}$$

Pada balok induk arah sumbu X direncanakan menggunakan profil WF 300 × 200 × 7 × 10 dengan data profil sebagai berikut:

W	= 48.3	kg/m	I _x	= 9431	cm ⁴
d	= 290	mm	I _y	= 1317	cm ⁴
b	= 199	mm	i _x	= 12.4	cm
t _f	= 10	mm	i _y	= 4.63	cm
t _w	= 7	mm	S _x	= 650	cm ³
r	= 18	mm	S _y	= 132	cm ³
A	= 61.5	cm ²	Z _x	= 721	cm ³
h	= d - 2(t _f + r)		Z _y	= 203	cm ³
	= 234	mm			

$$\text{Profil baja BJ41 ; } f_y = 250 \text{ MPa} = 2549.29 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 200000 \text{ MPa} = 2039432 \text{ kg/cm}^2$$

- Kontrol Penampang

Pelat sayap

$$\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{199}{2 \times 10} = 9.95$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10.75$$

Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{234}{7} = 33.43$$

$$\begin{aligned} \lambda_p &= 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 3.76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106.35 \end{aligned}$$

profil tersebut termasuk **penampang kompak**, sehingga

$$M_p = Z_x \cdot f_y = 721 \times 2549.29 = 1838038 \text{ kgcm}$$

- Kontrol Tekuk Lateral

$L_b = 600 \text{ cm}$ (panjang bentang)

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

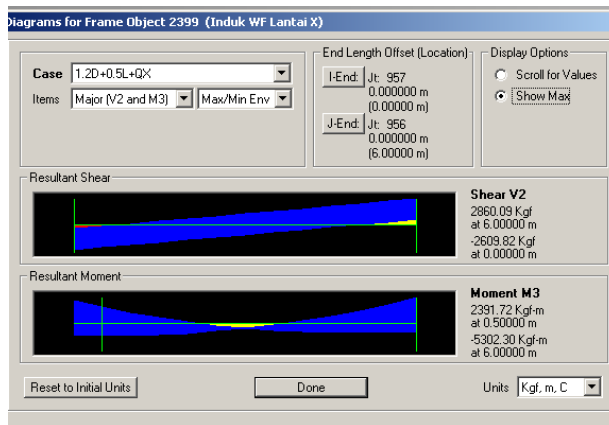
$$= 1.76 \times 4.63 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 230.483 \text{ cm}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 f_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 f_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 613.3 \text{ cm}$$

$L_b < L_p < L_r$ = **bentang menengah**, sehingga :

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L_b}{L_r - L_p} \right] \leq M_p$$



Gambar 4. 26 Diagram Gaya Dalam Balok Induk Arah X

Berdasarkan hasil analisa program bantu struktur didapat :

$$M_{\max} = 5302.3 \text{ kgm}$$

$$M_A = 2188.3 \text{ kgm}$$

$$M_B = 887.16 \text{ kgm}$$

$$M_C = 1747.9 \text{ kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2,3$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 5302.3}{2,5 \times 5302.3 + 3 \times 2188.3 + 4 \times 887.16 + 3 \times 1747.9} \leq 2,3$$

$$C_b = \mathbf{2.31} < 2.3$$

$$C_b = 2.3$$

$$\begin{aligned} M_r &= Z_x \cdot (f_y - f_r) = 721 \times (2549.29 - 700) \\ &= 1202039 \text{ kgcm} = 12020.4 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L_b}{L_r - L_p} \right] \leq M_p$$

$$M_n = 2.3 \left[12020.4 + (18380.38 - 12020.4) \frac{613.3 - 600}{613.3 - 230.5} \right]$$

$$M_n = 28155.1 \text{ kgm} > M_p = 18380.4 \text{ kgm}$$

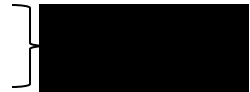
$$\phi M_n = 0.9 \times 18380.4 = 16542.3 \text{ kgm}$$

$$M_u = 5302.3 \text{ kgm} < \phi M_n = 16542.3 \text{ kgm} \dots \mathbf{OK}$$

- Kontrol Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{234}{7} = 33.43$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 63.357$$



Kondisi **plastis**, sehingga

$$V_n = 0.6 f_y A_w C_v$$

$$= 0.6 \times 2549.29 \times (29 \times 0.7) \times 1$$

$$= 31050.4 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 31050.4 = 27945.3 \text{ kg}$$

$$V_u = 4613.17 \text{ kg} < \phi V_n = 27945.3 \text{ kg} \dots \mathbf{OK}$$

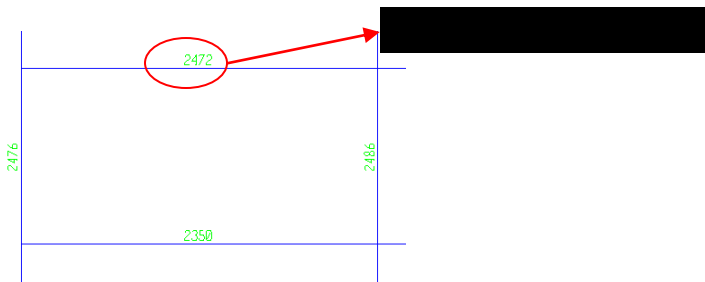
- Kontrol Lendutan

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{600}{360} = 1.667 \text{ cm}$$

$$f^o = 0.085 \text{ cm} < f_{ijin} = 1.667 \text{ cm} \dots \mathbf{OK}$$

4.3.4.2 Balok Induk Arah Y

Pada perencanaan balok induk arah sumbu Y dipilih elemen balok induk yang menerima gaya paling maksimum yaitu pada elemen 2472 di lantai 8.



Gambar 4. 27 Elemen Balok Induk Arah Y

Hasil analisa program bantu struktur untuk balok di luar *link* arah sumbu Y yang paling maksimum dengan kombinasi 1.2D + 0.5L – QY adalah sebagai berikut :

$$V_u = 13568.7 \quad \text{kg} \quad \text{Panjang balok} = 610 \text{ cm}$$

$$M_u = 15463.6 \quad \text{kgm} \quad f^{\circ} = 0.78 \text{ cm}$$

Pada balok induk arah sumbu Y direncanakan menggunakan profil WF 300 × 200 × 7 × 10 dengan data profil sebagai berikut:

$$W = 48.3 \quad \text{kg/m} \quad I_x = 9431 \quad \text{cm}^4$$

$$d = 290 \quad \text{mm} \quad I_y = 1317 \quad \text{cm}^4$$

$$b = 199 \quad \text{mm} \quad i_x = 12.4 \quad \text{cm}$$

$$t_f = 10 \quad \text{mm} \quad i_y = 4.63 \quad \text{cm}$$

$$t_w = 7 \quad \text{mm} \quad S_x = 650 \quad \text{cm}^3$$

$$r = 18 \quad \text{mm} \quad S_y = 132 \quad \text{cm}^3$$

$$A = 61.5 \quad \text{cm}^2 \quad Z_x = 721 \quad \text{cm}^3$$

$$h = d - 2(t_f + r) \quad Z_y = 203 \quad \text{cm}^3$$

$$= 234 \quad \text{mm}$$

$$\text{Profil baja BJ41 ; } f_y = 250 \text{ MPa} = 2549.29 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 200000 \text{ MPa} = 2039432 \text{ kg/cm}^2$$

- Kontrol Penampang

Pelat sayap

$$\lambda = \frac{b}{2.t_f} = \frac{199}{2 \times 10} = 9.95$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10.75$$

Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{234}{7} = 33.43$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 3.76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106.35$$

profil tersebut termasuk **penampang kompak**, sehingga

$$M_p = Z_x \cdot f_y = 721 \times 2549.29 = 1838038 \text{ kgcm}$$

- Kontrol Tekuk Lateral

$L_b = 610 \text{ cm}$ (panjang bentang)

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

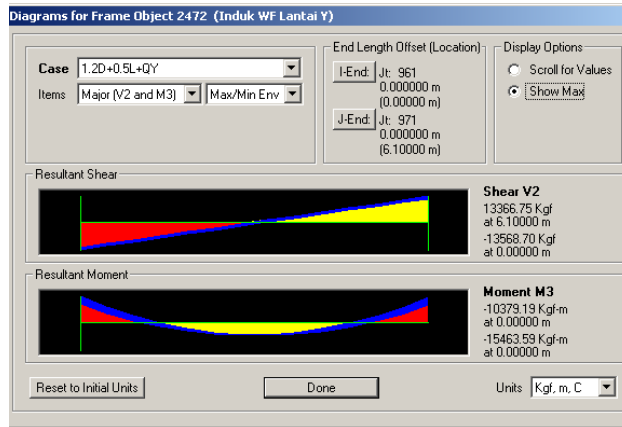
$$= 1.76 \times 4.63 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 230.483 \text{ cm}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 f_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 f_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 613.3 \text{ cm}$$

$L_b < L_p < L_r$ = **bentang menengah**, sehingga :

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L_b}{L_r - L_p} \right] \leq M_p$$



Gambar 4. 28 Diagram Gaya Dalam Balok Induk Arah Y

Berdasarkan hasil analisa program bantu struktur didapat :

$$M_{\max} = 15463.6 \text{ kgm}$$

$$M_A = 2892.77 \text{ kgm}$$

$$M_B = 6746.97 \text{ kgm}$$

$$M_C = 3145.33 \text{ kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2,3$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 15463.6}{2,5 \times 15463.6 + 3 \times 2892.77 + 4 \times 6746.97 + 3 \times 3145.33} \leq 2,3$$

$$C_b = \mathbf{2.31} > 2.3$$

$$C_b = 2.3$$

$$\begin{aligned} M_r &= Z_x \cdot (f_y - f_r) = 721 \times (2549.29 - 700) \\ &= 1202039 \text{ kgcm} = 12020.4 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_P - M_r) \frac{L_r - L_b}{L_r - L_p} \right] \leq M_p$$

$$M_n = 2.3 \left[12020.4 + (21465 - 12020.4) \frac{690.3 - 610}{690.3 - 236.5} \right]$$

$$M_n = 27772.96 \text{ kgm} > M_p = 18380 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 18380.4 = 16542.3 \text{ kgm}$$

$$M_u = 15463.6 \text{ kgm} < \phi M_n = 16542.3 \text{ kgm} \dots \mathbf{OK}$$

- Kontrol Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{234}{7} = 33.43$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 63.357$$



Kondisi **plastis**, sehingga

$$V_n = 0.6 f_y A_w C_v$$

$$= 0.6 \times 2549.29 \times (29 \times 0.7) \times 1$$

$$= 31050.4 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 31050.4 = 27945.3 \text{ kg}$$

$$V_u = 13568.7 \text{ kg} < \phi V_n = 27945.3 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

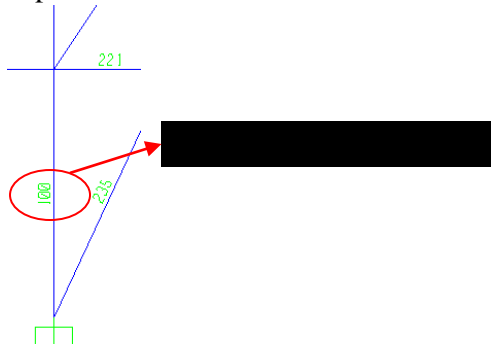
- Kontrol Lendutan

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{610}{360} = 1.69 \text{ cm}$$

$$f^o = 0.78 \text{ cm} < f_{ijin} = 1.69 \text{ cm} \dots \text{OK}$$

4.3.5 Perencanaan Kolom

Pada perencanaan kolom dipilih elemen yang menerima gaya paling maksimum yaitu pada elemen 100 di lantai dasar.



Gambar 4. 29 Elemen Kolom CFT

Hasil analisa program bantu struktur pada kolom yang paling maksimum tersebut adalah sebagai berikut :

- Tinggi Kolom = 430 cm
- Gaya kombinasi beban gravitasi :
 $P_u = 239042.77 \text{ kg}$
 $M_{u_x} = 2797.11 \text{ kgm}$
 $M_{u_y} = 4701.74 \text{ kgm}$
- Gaya beban gempa
 $P_u = 174285.7 \text{ kg}$
 $M_{u_x} = 12150.08 \text{ kgm}$
 $M_{u_y} = 3154.33 \text{ kgm}$

Kolom komposit CFT (baja terisi beton) direncanakan menggunakan profil HSS 400 × 400 × 14 dengan data profil sebagai berikut:

W	$= 168 \text{ kg/m}$	I	$= 52870 \text{ cm}^4$
b	$= 400 \text{ mm}$	i	$= 15.7 \text{ cm}$
t	$= 14 \text{ mm}$	Z	$= 2643 \text{ cm}^3$
A	$= 214 \text{ cm}^2$	S	$= 3087 \text{ cm}^3$

Profil baja BJ41 ; $f_y = 250 \text{ MPa} = 2549.29 \text{ kg/cm}^2$
 $f_u = 410 \text{ MPa} = 4180.836 \text{ kg/cm}^2$
 $E = 200000 \text{ MPa} = 2039432 \text{ kg/cm}^2$

Spesifikasi beton : $f'_c = 45 \text{ MPa} = 458.87 \text{ kg/cm}^2$
 $E = 4700\sqrt{f'_c} = 31528.56 \text{ MPa}$
 $A = D^2 - A = 40^2 - 214 = 1386 \text{ cm}^2$

- Kuat Tekan Nominal Kolom Komposit
Kontrol luas penampang minimum profil baja

$$\frac{A_s}{A_c + A_s} \times 100\% = \frac{214}{1386 + 214} \times 100\% = 13.37\% > 4\% \text{ ...OK}$$

Kontrol tebal minimum profil baja

$$t_{\min} = \frac{b \times \sqrt{f_y}}{\sqrt{3E}} = \frac{400 \times \sqrt{250}}{\sqrt{3.200000}} = 8.16 \text{ mm} < 14 \text{ mm} \dots \text{OK}$$

Kontrol penampang menerima gaya aksial

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{400}{14} = 28.57$$

$$\lambda_p = 2.26 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 2.26 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 63.92$$



Kuat tekan

Karena **penampang kompak**, maka

$$P_{no} = P_p \quad C_2 = 0.85$$

$$P_p = f_y A_s + C_2 \cdot f_c (A_c + A_{sr} \cdot E_s / E_c)$$

$$= 2549.29 \times 214 + 0.85 \times 458.72 \times (1386 + 0)$$

$$= 905946.3 \text{ kg}$$

- Momen Nominal Kolom Komposit

Kontrol penampang menerima gaya lentur

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{400}{14} = 28.57$$

$$\lambda_p = 2.26 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 2.26 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 63.92$$



$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{400}{14} = 28.57$$

$$\lambda_p = 3 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 3 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 84.85$$



profil tersebut termasuk **penampang kompak**, sehingga
 $M_p = Z_x \cdot f_y = 3087 \times 2549.29 = 6737773.5 \text{ kgcm}$

- Kontrol tekuk lateral

$$L_b = 430 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 15.7 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 781.55 \text{ cm}$$

$L_b < L_p = \text{bentang pendek}$, sehingga :

$$M_n = M_p = 6737773.5 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 6737773.5 = 67377.73 \text{ kgm}$$

$$M_u = 13499.92 \text{ kgm} < \phi M_n = 67377.73 \text{ kgm} \dots \text{OK}$$

- Kekuatan Lentur dan Aksial Orde Kedua

$$\alpha = 1 \text{ (DFBK)}$$

$$R_m = 1 - 0.15 \frac{P_{mf}}{P_{story}} = 1 \text{ (bresing, } P_{mf}=0)$$

$$k = 1 \text{ (kekakuan kolom)}$$

$$\Delta_H = 0.85 \text{ cm (defleksi kolom, output SAP)}$$

- Kuat Lentur Arah Sumbu X

Terhadap beban gravitasi

$$M_1 = 1349.84 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 3715.74 \text{ kgm}$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) = 0.6 - 0.4 \left(\frac{1349.84}{3715.74} \right) = 0.455$$

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{\pi^2 \times 2039432 \times 52870}{(1 \times 430)^2} = 5755477.7 \text{ kg}$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - a P_r / P_{e1}} = \frac{0.455}{1 - 1 \times 1330140.5 / 5755477.7} = 0.54 < 1$$

$$B_1 \text{ pakai} = 1$$

Terhadap beban lateral

$$H_x = 4478.94 \text{ kg (geser lateral, output SAP)}$$

$$P_{\text{story}} = 24416194 \text{ kg (aksial total tingkat, output SAP)}$$

$$Pe_{\text{story}} = \frac{Rm.H.L}{\Delta H} = \frac{1 \times 4478.94 \times 430}{0.85} = 90632668 \text{ kg}$$

$$B_2 = \frac{\frac{1}{1 - \frac{a.P_{\text{story}}}{Pe_{\text{story}}}}}{\frac{1}{1 - \frac{1 \times 24416194}{188169214}}} = 1.37$$

$$\begin{aligned} M_{rx} &= B_1.M_{nt} + B_2.M_{lt} \\ &= 1 \times 2797.11 + 1.37 \times 12150.08 = 18139.62 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Kuat Lentur Arah Sumbu Y

Terhadap beban gravitasi

$$M_1 = 2267.45 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 4691.66 \text{ kgm}$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) = 0.6 - 0.4 \left(\frac{2267.45}{4691.66} \right) = 0.407$$

$$Pe_1 = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{\pi^2 \times 2039432 \times 46130}{(1 \times 430)^2} = 5021755 \text{ kg}$$

$$B_1 = \frac{\frac{C_m}{1 - aP_r/Pe_l}}{\frac{0.407}{1 - 1 \times 1330140.5/5021755}} = 0.488 < 1$$

$$B_1 \text{ pakai} = 1$$

Terhadap beban lateral

$$H_y = 2052.9 \text{ kg (geser lateral, output SAP)}$$

$$P_{\text{story}} = 24416194 \text{ kg (aksial total tingkat, output SAP)}$$

$$Pe_{\text{story}} = \frac{Rm.H.L}{\Delta H} = \frac{1 \times 2052.9 \times 430}{0.85} = 41541035 \text{ kg}$$

$$B_2 = \frac{\frac{1}{1 - \frac{a.P_{\text{story}}}{Pe_{\text{story}}}}}{\frac{1}{1 - \frac{1 \times 24416194}{41541035}}} = 1.39$$

$$\begin{aligned} M_{ry} &= B_1.M_{nt} + B_2.M_{lt} \\ &= 1 \times 4701.74 + 1.39 \times 3154.33 = 6662.56 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Kuat Aksial

$$Pr = P_{nt} + B_2.P_{lt}$$

$$= 239042.77 + 1.37 \times 174285.7 = 477593.36 \text{ kg}$$

- Kontrol Interaksi Aksial dan Lentur

$$\frac{P_r}{\phi P_n} = \frac{477593.36}{0.9 \times 905946.3} = 0.586 > 0.2 \dots \text{gunakan interaksi 1}$$

$$\frac{P_r}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$$

$$0.586 + \frac{8}{9} \left(\frac{18139.62}{67377.73} + \frac{6662.56}{67377.73} \right) \leq 1,0$$

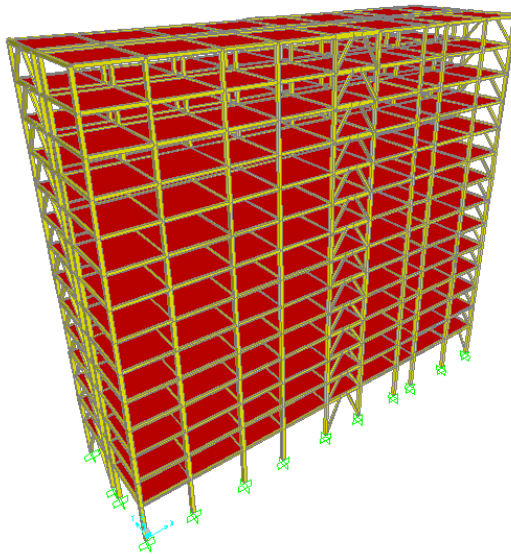
$$0.949 < 1 \dots \text{OK}$$

4.4 Perbandingan Berat SRPE dengan STF pada Perencanaan Apartemen Purimas Surabaya

Pada subbab ini akan dilakukan perhitungan berat material struktur utama dengan dua sistem struktur baja penahan gempa pada apartemen Purimas Surabaya. Berat material struktur baja dengan SRPE (Sistem Rangka Pengaku Eksentris) dihitung berdasarkan perencanaan pada subbab 4.3. Berat material struktur baja dengan sistem STF (Staggered Truss Frames) dihitung berdasarkan perencanaan pada tugas akhir “Studi Perilaku *Staggered Truss Framing Systems* Pada Gedung Apartemen Purimas Surabaya”.

4.4.1 Berat Material Sistem Rangka Pengaku Eksentris

Berikut adalah permodelan struktur menggunakan sistem rangka pengaku eksentris.



Gambar 4. 30 Permodelan SRPE

Berat material struktur utama pada lantai 1 adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 11 Berat Material lantai 1 SRPE

Profil	Keterangan	w (kg/m)	Panjang (m)	Banyak	Berat (kg)
HSS 400x400x12	Kolom	168	4.30	40	28896.0
WF 300x200x7x10	Induk X	48.3	5.00	14	3381.0
			6.00	16	4636.8
			3.00	4	579.6
WF 300x200x7x10	Induk Y	48.3	6.10	18	5303.3
			1.65	10	797.0
WF 400x200x8x13	Link	65.4	1.00	4	261.6
WF 400x200x8x13	Blk Luar Link	65.4	2.00	4	523.2
			2.55	4	667.1
200x200x9x14	Bresing	57.8	4.74	4	1096.4
			5.00	4	1155.8
Total Berat Baja					46142.0
Beton f'c 30 Mpa	Kolom	332.64	4.30	40	57214.1
Total Berat Material					103356.1

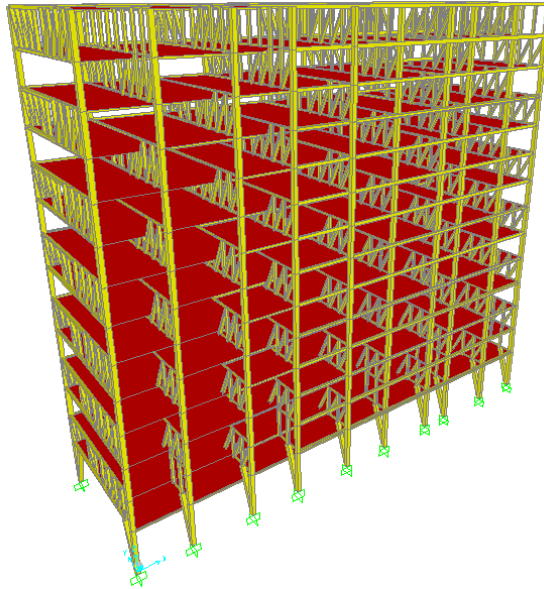
Berat material struktur utama pada lantai 2 - lantai atap adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 12 Berat Material lantai 2-Atap SRPE

Profil	Keterangan	w (kg/m)	Panjang (m)	Banyak	Berat (kg)
HSS 400x400x12	Kolom	168	3.00	40	20160.0
WF 300x200x7x10	Induk X	48.3	5.00	14	3381.0
			6.00	16	4636.8
			3.00	4	579.6
WF 300x200x7x10	Induk Y	48.3	6.10	18	5303.3
			1.65	10	797.0
WF 400x200x8x13	Link	65.4	1.00	4	261.6
WF 400x200x8x13	Blk Luar Link	65.4	2.00	4	523.2
			2.55	4	667.1
200x200x9x14	Bresing	57.8	3.61	4	833.6
			3.94	4	910.3
Total Berat Baja					37143.2
Beton f'c 30 Mpa	Kolom	332.64	3.00	40	39916.8
Total Berat Material					77060.0

4.4.2 Berat Material Sistem *Staggered Truss Frames*

Berikut adalah permodelan struktur menggunakan sistem *staggered truss frames*.



Gambar 4. 31 Permodelan STF

Berat material struktur utama pada lantai 1 adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 13 Berat Material lantai 1 STF

Profil	Keterangan	w (kg/m)	Panjang (m)	Banyak	Berat (kg)
WF 400x400x45x70	C	605	4.3	20	52030
HSS 400X400X12	D3	143.28	4.56	20	13067.136
WF 300X150X5.5X8	B1	32	1.65	10	528
WF 300X200X8X12	B2	56.8	1.525	80	6929.6
WF 600X300X12X20	B3	151	6	8	7248
			5	8	6040
			3	2	906
Total					86748.736

Berat material struktur utama pada lantai 2 adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 14 Berat Material lantai 2 STF

Profil	Keterangan	w (kg/m)	Panjang (m)	Banyak	Berat (kg)
WF 400x400x45x70	C	605	3	20	36300
HSS 250X250X16	D1	112.38	3	80	26971.2
	D2	112.38	3.365357	40	15127.951
WF 300X150X5.5X8	B1	32	1.65	10	528
WF 300X200X8X12	B2	56.8	1.525	80	6929.6
WF 600X300X12X20	B3	151	6	8	7248
			5	8	6040
			3	2	906
Total					63750.751

Berat material struktur utama pada lantai 3 – lantai 13 adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 15 Berat Material lantai 3-13 STF

Profil	Keterangan	w (kg/m)	Panjang (m)	Banyak	Berat (kg)
WF 400x400x45x70	C	605	3	20	36300
HSS 250X250X16	D1	112.38	3	40	13485.6
	D2	112.38	3.365357	40	15127.951
WF 300X150X5.5X8	B1	32	1.65	10	528
WF 300X200X8X12	B2	56.8	1.525	80	6929.6
WF 600X300X12X20	B3	151	6	8	7248
			5	8	6040
			3	2	906
Total					50265.151

Berat material struktur utama pada lantai atap adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 16 Berat Material lantai Atap STF

Profil	Keterangan	w (kg/m)	Panjang (m)	Banyak	Berat (kg)
WF 400x400x45x70	C	605	3	20	36300
HSS 250X250X16	D1	112.38	3	80	26971.2
	D2	112.38	3.365357	40	15127.95
WF 300X150X5.5X8	B1	32	1.65	10	528
WF 300X200X8X12	B2	56.8	1.525	80	6929.6
WF 600X200X11X17	B4	106	6	8	5088
			5	8	4240
			3	2	636
Total					59520.75096

4.4.3 Perbandingan Berat Total Struktur

Berikut adalah rekapitulasi berat material struktur utama kedua sistem struktur baja penahan gempa pada perencanaan apartemen Purimas Surabaya.

Tabel 4. 17 Berat Total Struktur SRPE dan STF

SRPE		STF	
Lantai	Berat (kg)	Lantai	Berat (kg)
1	103356.1	1	86748.7
2	77060.0	2	63750.8
3	77060.0	3	50265.2
4	77060.0	4	50265.2
5	77060.0	5	50265.2
6	77060.0	6	50265.2
7	77060.0	7	50265.2
8	77060.0	8	50265.2
9	77060.0	9	50265.2
10	77060.0	10	50265.2
11	77060.0	11	50265.2
12	77060.0	12	50265.2
13	77060.0	13	50265.2
Atap	77060.0	Atap	59520.8
Total Struktur	1105135.74	Total Struktur	762936.90

Berdasarkan perbandingan tabel diatas dapat diketahui bahwa berat total struktur utama sistem rangka pengaku eksentris lebih besar dari berat total struktur utama sistem *staggered truss frames* dengan selesiis sebesar $342198.84 \text{ kg} = 342.2 \text{ ton}$.

4.5 Perencanaan Sambungan

4.5.1 Sambungan Balok Utama Tangga dengan Balok Penumpu Tangga

Sambungan pada balok penumpu tangga direncanakan dengan sambungan baut yang hanya memikul beban geser dari balok utama tangga. Oleh karena itu, perencanaan sambungan ini dianggap sebagai sendi (*simple connection*).

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan balok utama tangga dengan balok penumpu tangga.

- Balok Utama Tangga (WF 200×150×6×9)
 - $D = 194 \text{ mm}$ $tw = 6 \text{ mm}$
 - $A = 39.01 \text{ cm}^2$ $tf = 9 \text{ mm}$
 - Balok Penumpu Tangga (WF 200×150×6×9)
 - $D = 194 \text{ mm}$ $tw = 6 \text{ mm}$
 - $A = 39.01 \text{ cm}^2$ $tf = 9 \text{ mm}$
 - Pelat penyambung (L 60×60×6)
 - $t = 6 \text{ mm}$ $A = 6.95 \text{ cm}^2$
 - $x = 17 \text{ mm}$
- Mutu profil BJ41: $f_y = 2549.29 \text{ kg/cm}^2$
 $f_u = 4180.84 \text{ kg/cm}^2$
 Mutu baut BJ50 : $f_u = 5098.58 \text{ kg/cm}^2$

- Sambungan baut balok utama tangga dengan pelat
 - $V_u = 2296.91 \text{ kg}$
 - $\varnothing_{\text{baut}} = 8 \text{ mm} \rightarrow A_b = 50.27 \text{ mm}^2 = 0.503 \text{ cm}^2$
 - $r_1 = 0.4$ (ulir pada bidang geser)
 - $m = 2$ (jumlah bidang geser)
 - Kuat geser baut
 - $\varnothing V_n = \varnothing \cdot r_1 \cdot f_{ub} \cdot A_b \cdot m$
 - $= 0.75 \times 0.4 \times 5098.58 \times 0.503 \times 2$
 - $= 1537.696 \text{ kg}$ (**menentukan**)

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot 2.4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_{u_p} \\ &= 0.75 \times 2.4 \times 0.8 \times 0.6 \times 4180.84 \\ &= 3612.242 \text{ kg}\end{aligned}$$

Jumlah baut

$$n = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{2296.91}{1537.696} = 1.49 \approx 2 \text{ buah}$$

- Sambungan baut balok penumpu tangga dengan pelat

$$V_u = 2296.91 \text{ kg}$$

$$\phi_{\text{baut}} = 8 \text{ mm} \rightarrow A_b = 50.267 \text{ mm}^2 = 0.503 \text{ cm}^2$$

$$r_1 = 0.4 \text{ (ulir pada bidang geser)}$$

$$m = 1 \text{ (jumlah bidang geser)}$$

Kuat geser baut

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot r_1 \cdot f_{u_b} \cdot A_b \cdot m \\ &= 0.75 \times 0.4 \times 5098.58 \times 0.503 \times 1 \\ &= 768.85 \text{ kg (menentukan)}\end{aligned}$$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot 2.4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_{u_p} \\ &= 0.75 \times 2.4 \times 0.8 \times 0.6 \times 4180.84 \\ &= 3612.24 \text{ kg}\end{aligned}$$

Jumlah baut

$$n = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{2296.91}{768.85} = 2.98 \approx 4 \text{ buah}$$

- Perencanaan Jarak baut

$$\text{Jarak antar baut} = 40 \text{ mm}$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p \rightarrow 24 \leq 40 \leq 90$$

$$\text{Jarak baut ke tepi terbebani} = 25 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq 4t_p + 100 \rightarrow 12 \leq 25 \leq 124$$

$$\text{Jarak baut ke tepi tidak terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p \rightarrow 12 \leq 30 \leq 72$$

$$\text{Panjang pelat siku} = 40 \times 1 + 25 \times 2 = 90 \text{ mm}$$

- Kontrol kekuatan pelat

Kuat leleh

$$\phi R_n = \phi A_g f_y$$

$$= 0.9 \times 6.95 \times 2549.29 = 15945.81 \text{ kg}$$

Kuat putus

$$\phi b_{\text{baut}} = 8 \text{ mm}$$

$$\phi \text{lubang} = 8 + 1.5 = 9.5 \text{ mm}$$

$$A_n = 6.95 - 2 \times 9.5 \times 0.6 = 5.81 \text{ cm}^2$$

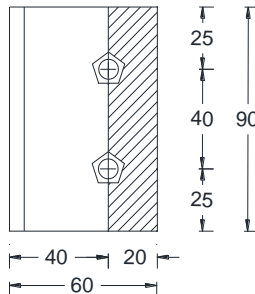
$$\mu = 1 \text{ (disambung setiap sisi)}$$

$$A_e = \mu A_n = 1 \times 5.81 = 5.81 \text{ cm}^2$$

$$\phi R_n = \phi A_e f_u$$

$$= 0.75 \times 5.81 \times 4180.84 = 18218 \text{ kg}$$

Kontrol Geser



Gambar 4. 32 Bidang Geser pada profil L 60×60×6

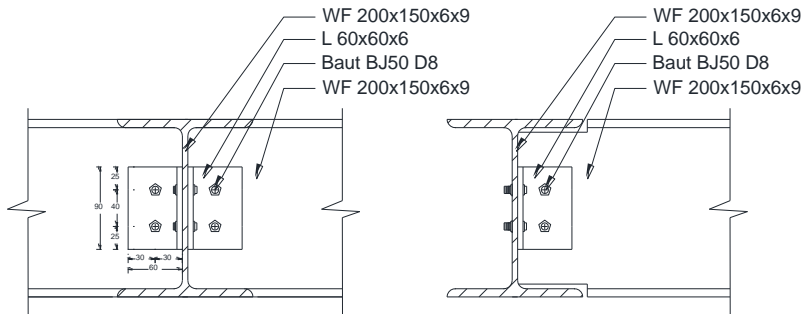
$$A_{gv} = P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}} = 90 \times 6 = 540 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \phi_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}} = 540 - 2 \times 9.5 \times 6 = 312 \text{ mm}^2$$

$$0.6 f_u A_{nv} = 0.6 \times 4180.84 \times 3.12 = 7826.524 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.6 f_u A_{nv} = 5869.89 \text{ kg (menentukan)}$$

Jadi, $\phi R_n = 5869.89 \text{ kg} > V_u = 2296.91 \text{ kg} \dots \text{OK}$



Gambar 4. 33 Sambungan Balok Utama Tangga dengan Balok Penumpu Tangga

4.5.2 Sambungan Balok Penumpu Tangga dengan Kolom

Sambungan pada kolom direncanakan dengan sambungan baut dan las yang hanya memikul beban geser dari balok penumpu tangga. Perencanaan sambungan ini dianggap sebagai sendi (*simple connection*).

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan balok penumpu tangga dengan kolom.

- Balok Penumpu Tangga (WF 200×150×6×9)
 - $D = 194 \text{ mm}$ $tw = 6 \text{ mm}$
 - $A = 39.01 \text{ cm}^2$ $tf = 9 \text{ mm}$
 - Kolom (HSS 400×400×14)
 - $D = 400 \text{ mm}$ $tw = 14 \text{ mm}$
 - $A = 214 \text{ cm}^2$
 - Pelat penyambung (L 60×60×6)
 - $t = 6 \text{ mm}$ $A = 6.95 \text{ mm}$
 - $x = 17 \text{ mm}$
- Mutu profil BJ41: $f_y = 2549.29 \text{ kg/cm}^2$
 $f_u = 4180.84 \text{ kg/cm}^2$
- Mutu baut BJ50 : $f_u = 5098.58 \text{ kg/cm}^2$

- Sambungan baut balok penumpu tangga dengan pelat

$$V_u = 4904.183 \text{ kg}$$

$$\phi_{\text{baut}} = 10 \text{ mm} \rightarrow A_b = 78.54 \text{ mm}^2 = 0.785 \text{ cm}^2$$

$$r_1 = 0.4 \text{ (ulir pada bidang geser)}$$

$$m = 2 \text{ (jumlah bidang geser)}$$

Kuat geser baut

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \cdot r_1 \cdot f_{u_b} \cdot A_b \cdot m \\ &= 0.75 \times 0.4 \times 5098.58 \times 0.785 \times 2 \\ &= 2402.6 \text{ kg (menentukan)} \end{aligned}$$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \cdot 2.4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_{u_p} \\ &= 0.75 \times 2.4 \times 1 \times 0.6 \times 4180.84 \\ &= 4515.3 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jumlah baut

$$n = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{4904.183}{2402.6} = 2.04 \approx 3 \text{ buah}$$

- Perencanaan Jarak baut

$$\text{Jarak antar baut} = 40 \text{ mm}$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p \rightarrow 30 \leq 40 \leq 90$$

$$\text{Jarak baut ke tepi terbebani} = 25 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq 4t_p + 100 \rightarrow 15 \leq 25 \leq 124$$

$$\text{Jarak baut ke tepi tidak terbebani} = 30 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p \rightarrow 15 \leq 30 \leq 72$$

$$\text{Panjang pelat siku} = 40 \times 2 + 25 \times 2 = 130 \text{ mm}$$

- Kontrol kekuatan pelat

Kuat leleh

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 0.9 \times 6.95 \times 2549.29 = 15945.81 \text{ kg (menentukan)} \end{aligned}$$

Kuat putus

$$\varnothing_{\text{baut}} = 10 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{\text{lubang}} = 10 + 1.5 = 11.5 \text{ mm}$$

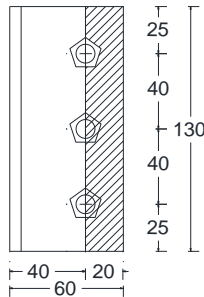
$$A_n = 6.95 - 2 \times 1.15 \times 0.6 = 5.57 \text{ cm}^2$$

$$\mu = 1 \text{ (disambung setiap sisi)}$$

$$A_e = \mu \cdot A_n = 1 \times 5.57 = 5.57 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \varnothing R_n &= \varnothing \cdot A_e \cdot f_u \\ &= 0.75 \times 5.57 \times 4180.84 = 23287.25 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol Geser



Gambar 4. 34 Bidang Geser pada profil $\angle 60 \times 60 \times 6$

$$A_{gv} = P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}} = 130 \times 6 = 1560 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \varnothing_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}} = 1560 - 3 \times 11.5 \times 6 = 1353 \text{ mm}^2$$

$$0.6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0.6 \times 4180.84 \times 13.53 = 33940 \text{ kg}$$

$$\varnothing \cdot R_n = 0.75 \times 0.6 f_u A_{nv} = 25455 \text{ kg}$$

$$\text{Jadi, } \varnothing R_n = 15945.81 \text{ kg} > V_u = 4904.183 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

- Sambungan las kolom dengan pelat

$$V_u = 4904.183 \text{ kg}$$

$$d_{\text{plat}} = 130 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu las} = F_{E70xx} = 70 \times 70.3 = 4921 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Misal } t_e = 1 \text{ cm}$$

$$A_{\text{las}} = 2 \times (1 \times 13) = 26 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{(26)^3}{12} = \frac{(26)^3}{12} = 366.167 \text{ cm}^4$$

$$f_{u_{\text{las}}} = \emptyset \times 0.6 \times F_{E110xx} \times t_e$$

$$f_{u_{\text{las}}} = 0.75 \times 0.6 \times 4921 \times 1$$

$$f_{u_{\text{las}}} = 2214.45 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat Vu

$$f_{\text{total}} = f_v = \frac{P_u}{A} = \frac{4904.183}{18} = 188.622 \text{ kg/cm}^2$$

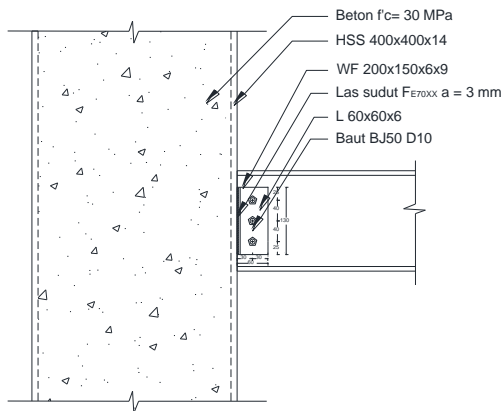
$$t_e = \frac{f_{\text{total}}}{f_{u_{\text{las}}}} = \frac{188.62}{2214.45} = 0.085 \text{ cm}$$

$$a = \frac{t_e}{0.707} = \frac{0.085}{0.707} = 0.12 \text{ cm}$$

Persyaratan las minimum

$$t_{\text{plat}} = 6 \text{ mm } (t < 7 \text{ mm}), a_{\text{min}} = 3 \text{ mm}$$

Digunakan las sudut dengan $a = 0.3 \text{ cm}$



Gambar 4. 35 Sambungan Balok Penumpu Tangga dengan Kolom

4.5.3 Sambungan Balok Luar *Link* dengan Kolom

Sambungan pada kolom direncanakan dengan sambungan baut dan las yang memikul beban geser dan momen yang terjadi pada balok di luar link. Perencanaan sambungan ini dianggap sebagai jepit (*rigid connection*).

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan balok luar link dengan kolom.

- Balok Luar Link (WF 400×200×8×13)

D = 400	mm	tw = 8	mm
A = 112	cm ²	tf = 13	mm
b = 200	mm	Z _x = 1313	cm ³
- Kolom (HSS 400×400×14)

D = 400	mm	tw = 14	mm
A = 214	cm ²		
- Pelat penyambung badan

t = 8	mm
-------	----
- Pelat penyambung sayap (*diaphragm plate*)

t = 26	mm
--------	----

Mutu profil BJ41: $f_y = 2549.29 \text{ kg/cm}^2$
 $f_u = 4180.84 \text{ kg/cm}^2$
 Mutu pelat BJ50: $f_y = 2957.18 \text{ kg/cm}^2$
 $f_u = 5098.58 \text{ kg/cm}^2$
 Mutu baut A490 : $f_u = 10350 \text{ kg/cm}^2$
 Mutu las = $F_{E110xx} = 110 \times 70.3 = 7733 \text{ kg/cm}^2$

- Perhitungan gaya pada sambungan

Akibat kapasitas penampang

$$\begin{aligned} Mu &= 1.1 \cdot R_y \cdot Z_x \cdot f_y \\ &= 1.1 \times 1.5 \times 1313 \times 2549.29 \\ &= 5522909.3 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$Vu_1 = 2 \times Mu / L = 2 \times 5522909.3 / 500 = 22091.64 \text{ kg}$$

Akibat kombinasi 1.2D+0.5L

$$Vu_2 = 1925.03 \text{ kg}$$

$$Vu_{total} = Vu_1 + Vu_2 = 22091.64 + 1925.03 = 24016.67$$

- Sambungan baut pada badan balok dengan pelat

$$Vu = 24016.67 \text{ kg}$$

$$\varnothing_{\text{baut}} = 12 \text{ mm} \rightarrow Ab = 113.097 \text{ mm}^2 = 1.13 \text{ cm}^2$$

$$r_1 = 0.5 \text{ (ulir tidak pada bidang geser)}$$

$$m = 2 \text{ (jumlah bidang geser)}$$

Kuat geser baut

$$\begin{aligned} \varnothing V_n &= \varnothing \cdot r_1 \cdot f_{ub} \cdot A_b \cdot m \\ &= 0.75 \times 0.5 \times 10350 \times 1.13 \times 2 \\ &= 8779.18 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned} \varnothing R_n &= \varnothing \cdot 2.4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_{up} \\ &= 0.75 \times 2.4 \times 1.2 \times 0.8 \times 4180.84 \\ &= 8810.35 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat tarik baut

$$\begin{aligned} \varnothing T_n &= \varnothing \cdot 0.75 \cdot A_b \cdot f_{ub} \\ &= 0.75 \times 0.75 \times 1.13 \times 10350 \\ &= 6584.39 \text{ kg (menentukan)} \end{aligned}$$

Jumlah baut

$$n = \frac{Vu}{\varnothing V_n} = \frac{24016.67}{6584.39} = 3.65 \approx 4 \text{ buah}$$

- Perencanaan Jarak baut pada badan balok

$$\text{Jarak antar baut} = 50 \text{ mm}$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p \rightarrow 36 \leq 50 \leq 120$$

$$\text{Jarak baut ke tepi terbebani} = 25 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq 4t_p + 100 \rightarrow 18 \leq 25 \leq 132$$

$$\text{Jarak baut ke tepi tidak terbebani} = 40 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p \rightarrow 18 \leq 40 \leq 120$$

$$\text{Panjang pelat} = 50 \times 3 + 25 \times 2 = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar pelat} = 40 \times 2 = 80 \text{ mm}$$

- Kontrol kekuatan pelat pada badan balok

Kuat leleh

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 0.9 \times (8 \times 0.8) \times 2957.18 \times 2 = 34066.7 \text{ kg (menentukan)}\end{aligned}$$

Kuat putus

$$\phi_{\text{baut}} = 12 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{lubang}} = 12 + 1.5 = 13.5 \text{ mm}$$

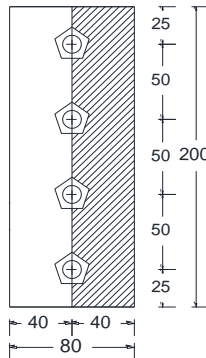
$$A_n = (8 \times 0.8) - 1 \times 1.35 \times 0.8 = 5.32 \text{ cm}^2$$

$\mu = 1$ (disambung setiap sisi)

$$A_e = \mu \cdot A_n = 1 \times 5.32 = 5.32 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot A_e \cdot f_u \\ &= 0.75 \times 5.32 \times 5098.58 \times 2 = 40686.67 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kontrol Geser



Gambar 4. 36 Bidang Geser pada pelat

$$A_{gv} = P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}} = 200 \times 8 = 1600 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \phi_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}} = 1600 - 4 \times 13.5 \times 8 = 1168 \text{ mm}^2$$

$$0.6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0.6 \times 4180.84 \times 11.68 = 35730.85 \text{ kg}$$

$$\phi \cdot R_n = 0.75 \times 0.6 f_u A_{nv} = 26798.1 \text{ kg}$$

Jadi, $\phi R_n = 26798.1 \text{ kg} > V_u = 24016.67 \text{ kg} \dots \text{OK}$

- Sambungan las kolom dengan pelat pada badan balok

$$V_u = 24016.67 \text{ kg}$$

$$d_{\text{plat}} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu las} = F_{E110xx} = 7733 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Misal } t_e = 1 \text{ cm}$$

$$A_{\text{las}} = 2 \times (1 \times 20) = 40 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6} = \frac{20(3 \times 9^2 + 20^2)}{6} = 2143.33 \text{ cm}^4$$

$$S_x = \frac{d^3}{3} = \frac{20^3}{3} = 2666.67 \text{ cm}^3$$

$$f_{u_{\text{las}}} = \phi \times 0.6 \times F_{E110xx} \times t_e$$

$$f_{u_{\text{las}}} = 0.75 \times 0.6 \times 7733 \times 1$$

$$f_{u_{\text{las}}} = 3479.85 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat V_u

$$f_{\text{total}} = f_v = \frac{V_u}{A} = \frac{24016.67}{62} = 600.417 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_e = \frac{f_{\text{total}}}{f_{u_{\text{las}}}} = \frac{600.417}{3479.85} = 0.17 \text{ cm}$$

$$a = \frac{t_e}{0.707} = \frac{0.17}{0.707} = 0.24 \text{ cm}$$

Persyaratan las minimum

$$t_{\text{plat}} = 8 \text{ mm } (7 \leq t < 10 \text{ mm}), a_{\text{min}} = 4 \text{ mm}$$

Digunakan las sudut dengan $a = 0.4 \text{ cm}$

- Sambungan las kolom dengan *diaphragm plate* pada sayap balok

$$Mu = 5522909.3 \text{ kgcm}$$

$$\text{Las tumpul } t_e = 26 \text{ mm (tebal } diaphragmplate)$$

$$T = \frac{Mu}{d} = \frac{5522909.3}{40} = 138072.73 \text{ kg}$$

Kekuatan rencana las tumpul penetrasi penuh

$$\phi R_n = 0.9 \times t_e \times f_y$$

$$= 0.9 \times 2.6 \times 2957.18 = 6919.79 \text{ kg/cm}^2$$

Luas las tumpul

$$A_{las} = t_e \cdot d_{kolom} = 2.6 \times 40 = 104 \text{ cm}^2$$

Tegangan yang terjadi akibat beban tarik

$$f_{total} = \frac{138072.73}{104} = 1327.62 < \phi R_n = 6919.79 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{OK}$$

- Sambungan baut pada sayap balok dengan *diaphragm plate*

$$V_u = T = 138072.73 \text{ kg}$$

$$\phi_{baut} = 20 \text{ mm} \rightarrow A_b = 314.16 \text{ mm}^2 = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$r_1 = 0.5 \text{ (ulir tidak pada bidang geser)}$$

$$m = 1 \text{ (jumlah bidang geser)}$$

Kuat geser baut

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \cdot r_1 \cdot f_{u_b} \cdot A_b \cdot m \\ &= 0.75 \times 0.5 \times 10350 \times 3.14 \times 1 \\ &= 12193.31 \text{ kg (menentukan)} \end{aligned}$$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \cdot 2.4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_{u_p} \\ &= 0.75 \times 2.4 \times 2 \times 1.3 \times 4180.84 \\ &= 19566.31 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat tarik baut

$$\begin{aligned} \phi T_n &= \phi \cdot 0.75 \cdot A_b \cdot f_{u_b} \\ &= 0.75 \times 0.75 \times 3.14 \times 10350 \\ &= 18289.96 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jumlah baut

$$n = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{138072.73}{12193.31} = 11.32 \approx 12 \text{ buah (6 buah setiap sisi sayap)}$$

- Perencanaan Jarak baut pada sayap balok

$$\text{Jarak antar baut} = 60 \text{ mm}$$

$$3d_b \leq S \leq 15t_p \rightarrow 60 \leq 60 \leq 390$$

$$\text{Jarak baut ke tepi terbebani} = 50 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq 4t_p + 100 \rightarrow 30 \leq 50 \leq 204$$

$$\text{Jarak baut ke tepi tidak terbebani} = 50 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p \rightarrow 30 \leq 50 \leq 312$$

$$\text{Panjang pelat} = 60 \times 5 + 50 \times 2 = 400 \text{ mm}$$

- Kontrol kekuatan *diaphragm plate*

Kuat leleh

$$\phi R_n = \phi . A_g . f_y$$

$$= 0.9 \times (2.6 \times 20) \times 2957.18 = 138396 \text{ kg (menentukan)}$$

Kuat putus

$$\phi b_{\text{baut}} = 20 \text{ mm}$$

$$\phi \text{lubang} = 20 + 1.5 = 21.5 \text{ mm}$$

$$A_n = 52 - 2 \times 2.15 \times 2.6 = 40.82 \text{ cm}^2$$

$$\mu = 1 \text{ (disambung setiap sisi)}$$

$$A_e = \mu . A_n = 1 \times 40.82 = 40.82 \text{ cm}^2$$

$$\phi R_n = \phi . A_e . f_u$$

$$= 0.75 \times 40.82 \times 5098.58 = 187311.63 \text{ kg}$$

Kontrol Geser

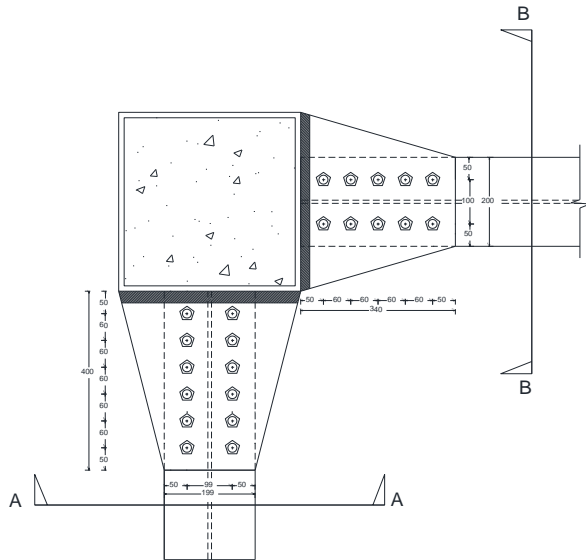
$$A_{gv} = P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}} = 400 \times 2.6 = 10400 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{nv} &= A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \phi_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}} = 10400 - 6 \times 21.5 \times 26 \\ &= 7046 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

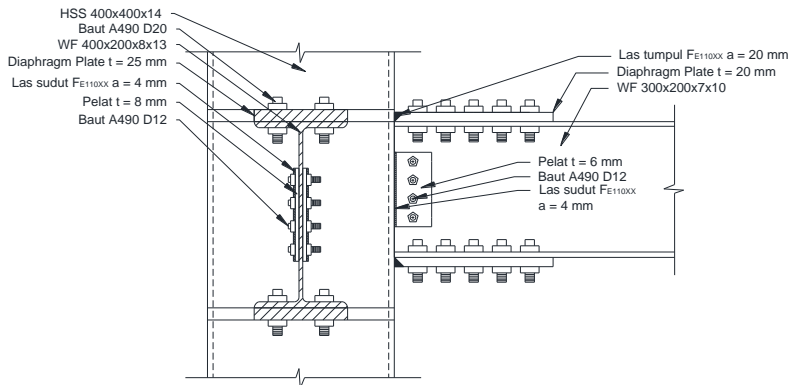
$$0.6 . f_u . A_{nv} = 0.6 \times 4180.84 \times 70.46 = 215547.57 \text{ kg}$$

$$\phi . R_n = 0.75 \times 0.6 f_u A_{nv} = 161660.68 \text{ kg}$$

$$\text{Jadi, } \phi R_n = 138396 \text{ kg} > V_u = 138072.73 \text{ kg} \dots \textbf{OK}$$



Gambar 4. 37 Tampak Atas Sambungan Balok Luar Link dengan Kolom



Gambar 4. 38 Potongan A-A Sambungan Balok Luar Link dengan Kolom

4.5.4 Sambungan Bresing

Sambungan pada bresing mengacu pada SNI 03–1729–2002 butir 15.13.6.4 mengenai kuat perlu sambungan batang bresing ke balok, harus ditentukan lebih besar atau sama dengan kuat nominal batang bresing yaitu $1.25R_y V_n$.

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan bresing.

- Bresing (WF 200×200×9×14)

D = 204 mm	tw = 8 mm
A = 112 cm ²	tf = 13 mm
b = 200 mm	Zx = 1313 cm ³
- Balok Luar Link (WF 400×200×8×13)

D = 400 mm	tw = 8 mm
A = 112 cm ²	tf = 13 mm
b = 200 mm	Zx = 1313 cm ³
- Pelat penyambung (L 60×60×6)

t = 6 mm	A = 6.95 cm ²
x = 17 mm	
- Pelat buhul

t = 6 mm	
Mutu profil BJ41:	fy = 2549.29 kg/cm ²
	fu = 4180.84 kg/cm ²
Mutu pelat	: fy = 2957.18 kg/cm ²
	fu = 5098.58 kg/cm ²
Mutu baut A490 :	fu = 10350 kg/cm ²
Mutu las = F _{E110xx}	= 110×70.3 = 7733 kg/cm ²

- Perhitungan gaya pada sambungan

$$\begin{aligned}
 V_p &= 0.6 f_y (d - 2t_f) t_w \\
 &= 0.6 \times 2549.29 \times (40 - 2 \times 1.3) \times 0.8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 45764.9 \text{ kg} \\
 M_{px} &= Z_x f_y = 1313 \times 2549.29 = 3347218 \text{ kgcm} \\
 M_{py} &= 1.5 S_x f_y = 1.5 \times 1173 \times 2549.29 = 4485476 \text{ kgcm} \\
 M_p &= 3347218 \text{ kgcm} \\
 2M_{p/e} &= 2 \frac{3347218}{100} = 66944.4 \text{ kg} \\
 \text{Karena } V_p &< 2M_{p/e}, \text{ maka} \\
 V_n &= V_p = 45764.9 \text{ kg} \\
 \text{Sehingga,} \\
 V_u &= 1.25 \cdot R_y \cdot V_n \\
 &= 1.25 \times 1.5 \times 45764.9 \\
 &= 85809.1 \text{ kg} \\
 P_u &= \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{85809.1}{0.832} = 103129.7 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Sambungan baut pada bresing dan pelat siku

$$\begin{aligned}
 V_u &= 103129.7 \text{ kg} \\
 \emptyset \text{ baut} &= 12 \text{ mm} \rightarrow A_b = 113.097 \text{ mm}^2 = 1.13 \text{ cm}^2 \\
 r_1 &= 0.5 \text{ (ulir tidak pada bidang geser)} \\
 m &= 1 \text{ (jumlah bidang geser)} \\
 \text{Kuat geser baut} \\
 \emptyset V_n &= \emptyset \cdot r_1 \cdot f_{ub} \cdot A_b \cdot m \\
 &= 0.75 \times 0.5 \times 10350 \times 1.13 \times 1 \\
 &= 4389.59 \text{ kg (menentukan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tumpu baut} \\
 \emptyset R_n &= \emptyset \cdot 2.4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_{up} \\
 &= 0.75 \times 2.4 \times 1.2 \times 0.6 \times 4180.84 \\
 &= 5418.36 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tarik baut} \\
 \emptyset T_n &= \emptyset \cdot 0.75 \cdot A_b \cdot f_{ub} \\
 &= 0.75 \times 0.75 \times 1.13 \times 10350 \\
 &= 6584.39 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jumlah baut

$$n = \frac{V_u}{\emptyset V_n} = \frac{103129.7}{4389.59} = 23.49 \approx 24 \text{ buah}$$

Jumlah baut tersebut dibagi menjadi :

Baut pada sayap bresing ($m=1$) \rightarrow 3 buah

Baut pada badan bresing ($m=2$) \rightarrow 6 buah

- Perencanaan Jarak baut pada sayap dan badan balok

Jarak antar baut = 50 mm

$$3db \leq S \leq 15tp \rightarrow 36 \leq 50 \leq 390$$

Jarak baut ke tepi terbebani = 30 mm

$$1.5db \leq S_1 \leq 4tp + 100 \rightarrow 18 \leq 30 \leq 124$$

Jarak baut ke tepi tidak terbebani = 30 mm (sayap)

$$1.5db \leq S \leq 12tp \rightarrow 18 \leq 30 \leq 72$$

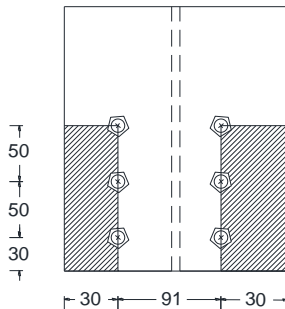
Jarak baut ke tepi tidak terbebani = 20 mm (badan)

$$1.5db \leq S \leq 12tp \rightarrow 18 \leq 40 \leq 72$$

Panjang pelat = $50 \times 2 + 30 \times 2 = 160$ mm

Lebar pelat pada badan balok = $50 \times 1 + 20 \times 2 = 90$ mm

- Kontrol *Block Shear*



Gambar 4. 39 Block Shear pada Profil Bresing

$$A_{gt} = 840 \text{ mm}^2$$

$$A_{gv} = 3640 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 651 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 2695 \text{ mm}^2$$

$$f_u \cdot A_{nt} = 4180.84 \times 6.51 = 27217.2 \text{ kg}$$

$$0.6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0.6 \times 4180.84 \times 26.95 = 67604.1 \text{ kg}$$

Putus geser > putus Tarik, sehingga:

Kuat rencana *blockshear*

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0.75 \times (0.6 f_u A_{nv} + f_y A_{gt}) \\ &= 0.75 \times (67604.1 + 2549.29 \times 8.4) \\ &= 69333.3 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$V_u \text{ (asumsi } blockshear) = P_u/3 = 103129.7/3 = 34376.6$$

Jadi, $\phi R_n = 69333.3 \text{ kg} > V_u = 34376.6 \dots$ **OK**

- Sambungan las sudut pada pelat buhul

$$V_u = 103129.7 \text{ kg}$$

$$\text{Mutu las} = F_{E110xx} = 7733 \text{ kg/cm}^2$$

Misal : $t_e = 1 \text{ cm}$

Dimensi pelat :

$$b = 340 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$L = \sqrt{(b)^2 + (h)^2} = \sqrt{(340)^2 + (500)^2} = 604.65 \text{ mm}$$

$$\cos \alpha = 340/604.65 = 0.562$$

$$\sin \alpha = 500/604.65 = 0.827$$

$$f_{u_{las}} = \phi \times 0.6 \times F_{E110xx} \times t_e$$

$$f_{u_{las}} = 0.75 \times 0.6 \times 7733 \times 1$$

$$f_{u_{las}} = 3479.85 \text{ kg/cm}^2$$

Las pada sayap balok dan kolom

$$f_h = \frac{V_u \cos \alpha}{A} = \frac{57990.9}{60.47 \times 1 \times 2} = 479.54 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_v = \frac{V_u \sin \alpha}{A} = \frac{85280.7}{60.47 \times 1 \times 2} = 705.21 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{total} = \sqrt{(f_v)^2 + (f_h)^2}$$

$$f_{total} = \sqrt{(479.54)^2 + (705.21)^2} = 852.81 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_e = \frac{f_{total}}{f_{u_{las}}} = \frac{852.81}{3479.85} = 0.245 \text{ cm}$$

$$a = \frac{t_e}{0.707} = \frac{0.245}{0.707} = 0.347 \text{ cm}$$

Persyaratan las minimum

$t_{plat} = 9 \text{ mm}$ ($7 \leq t \leq 10 \text{ mm}$), $a_{min} = 4 \text{ mm}$

Digunakan las sudut dengan $a = 0.4 \text{ cm}$

Las pada sayap balok

$$f_{total} = f_h = \frac{V_u}{A} = \frac{103129.7}{50 \times 1 \times 2} = 1031.1 \text{ kg/cm}^2$$

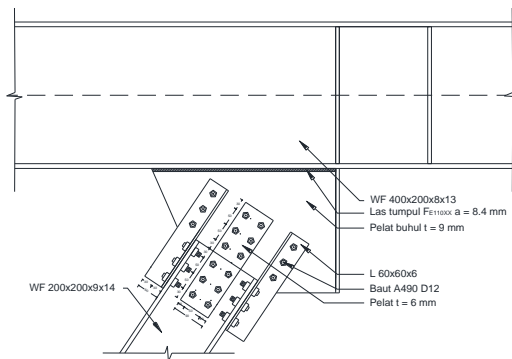
$$t_e = \frac{f_{total}}{f_{u_{las}}} = \frac{1031.1}{3479.85} = 0.29 \text{ cm}$$

$$a = \frac{t_e}{0.707} = \frac{0.29}{0.707} = 0.42 \text{ cm}$$

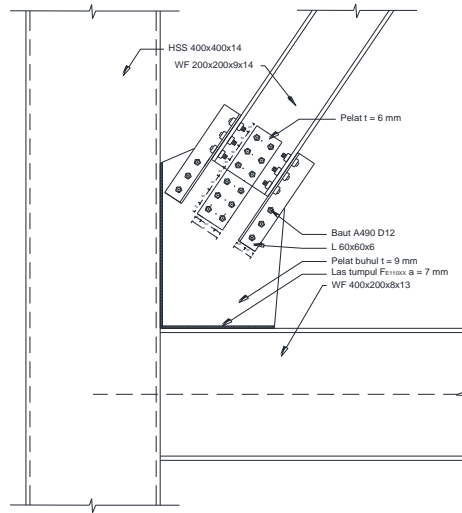
Persyaratan las minimum

$t_{plat} = 9 \text{ mm}$ ($7 \leq t \leq 10 \text{ mm}$), $a_{min} = 4 \text{ mm}$

Digunakan las sudut dengan $a = 0.5 \text{ cm}$



Gambar 4. 40 Sambungan Bresing pada Balok Induk



Gambar 4. 41 Sambungan Bresing pada Balok Induk dan Kolom

4.5.5 Sambungan Balok Induk dengan Kolom

Sambungan pada kolom direncanakan dengan sambungan baut dan las yang memikul beban geser dan momen yang terjadi pada balok induk. Perencanaan sambungan ini dianggap sebagai jepit (*rigid connection*).

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan balok induk dengan kolom.

- Balok Induk (WF 300×200×7×10)

D = 290	mm	tw = 7	mm
A = 61.5	cm ²	tf = 10	mm
b = 199	mm	Z _x = 721	cm ³
- Kolom (HSS 400×400×14)

D = 400	mm	tw = 14	mm
A = 214	cm ²		

- Pelat penyambung badan
 $t = 8 \text{ mm}$
- Pelat penyambung sayap (*diaphragm plate*)
 $t = 20 \text{ mm}$
 Mutu profil BJ41: $f_y = 2549.29 \text{ kg/cm}^2$
 $f_u = 4180.84 \text{ kg/cm}^2$
 Mutu pelat BJ50: $f_y = 2957.18 \text{ kg/cm}^2$
 $f_u = 5098.58 \text{ kg/cm}^2$
 Mutu baut A490 : $f_u = 10350 \text{ kg/cm}^2$
 Mutu las = $F_{E110xx} = 110 \times 70.3 = 7733 \text{ kg/cm}^2$
- Perhitungan gaya pada sambungan
 Akibat kapasitas penampang
 $M_u = 1.1 \cdot R_y \cdot Z_x \cdot f_y$
 $= 1.1 \times 1.5 \times 721 \times 2549.29$
 $= 3032762.8 \text{ kgcm}$
 $V_{u1} = 2 \times M_u / L = 2 \times 3032762.8 / 500 = 10109.21 \text{ kg}$
 Akibat kombinasi 1.2D+0.5L
 $V_{u2} = 12744.28 \text{ kg}$
 $V_{u\text{total}} = V_{u1} + V_{u2} = 10109.21 + 12744.28 = 22853.49 \text{ kg}$
- Sambungan baut pada badan balok dengan pelat
 $V_u = 22853.49 \text{ kg}$
 $\phi_{\text{baut}} = 12 \text{ mm} \rightarrow A_b = 113.097 \text{ mm}^2 = 1.13 \text{ cm}^2$
 $r_1 = 0.5$ (ulir tidak pada bidang geser)
 $m = 2$ (jumlah bidang geser)
 Kuat geser baut
 $\phi V_n = \phi \cdot r_1 \cdot f_{u_b} \cdot A_b \cdot m$
 $= 0.75 \times 0.5 \times 10350 \times 1.13 \times 2$
 $= 8779.18 \text{ kg}$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot 2.4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_{u_p} \\ &= 0.75 \times 2.4 \times 1.2 \times 0.7 \times 4180.84 \\ &= 7709.053 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat tarik baut

$$\begin{aligned}\phi T_n &= \phi \cdot 0.75 \cdot A_b \cdot f_{u_b} \\ &= 0.75 \times 0.75 \times 1.13 \times 10350 \\ &= 6584.39 \text{ kg (menentukan)}\end{aligned}$$

Jumlah baut

$$n = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{24016.67}{6584.39} = 3.47 \approx 4 \text{ buah}$$

- Perencanaan Jarak baut pada badan balok

Jarak antar baut = 40 mm

$$3d_b \leq S \leq 15t_p \rightarrow 36 \leq 40 \leq 105$$

Jarak baut ke tepi terbebani = 20 mm

$$1.5d_b \leq S_1 \leq 4t_p + 100 \rightarrow 18 \leq 20 \leq 128$$

Jarak baut ke tepi tidak terbebani = 40 mm

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p \rightarrow 18 \leq 40 \leq 84$$

Panjang pelat = $40 \times 3 + 20 \times 2 = 160$ mm

Lebar pelat = $40 \times 2 = 80$ mm

- Kontrol kekuatan pelat pada badan balok

Kuat leleh

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 0.9 \times (8 \times 0.8) \times 2957.18 \times 2 = 34066.7 \text{ kg (menentukan)}\end{aligned}$$

Kuat putus

ϕ baut = 12 mm

$$\phi \text{ lubang} = 12 + 1.5 = 13.5 \text{ mm}$$

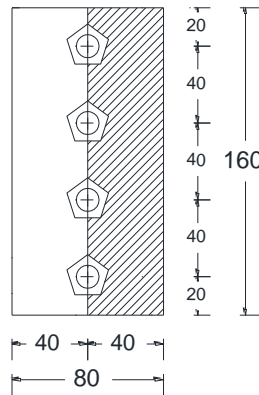
$$A_n = (8 \times 0.8) - 1 \times 1.35 \times 0.8 = 5.32 \text{ cm}^2$$

$\mu = 1$ (disambung setiap sisi)

$$A_e = \mu \cdot A_n = 1 \times 5.32 = 5.32 \text{ cm}^2$$

$$\phi R_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u = 0.75 \times 5.32 \times 5098.58 \times 2 = 40686.67 \text{ kg}$$

Kontrol Geser



Gambar 4. 42 Bidang geser pada profil L 60×60×6

$$A_{gv} = P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}} = 160 \times 8 = 1280 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \phi_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}} = 1280 - 4 \times 13.5 \times 8 = 848 \text{ mm}^2$$

$$0.6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0.6 \times 4180.84 \times 8.48 = 34588.8 \text{ kg}$$

$$\phi \cdot R_n = 0.75 \times 0.6 f_u A_{nv} = 25941.57 \text{ kg}$$

Jadi, $\phi R_n = 25941.57 \text{ kg} > V_u = 22853.49 \text{ kg} \dots \text{OK}$

- Sambungan las kolom dengan pelat pada badan balok

$$V_u = 22853.49 \text{ kg}$$

$$d_{\text{plat}} = 160 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu las} = F_{E110xx} = 7733 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Misal } t_e = 1 \text{ cm}$$

$$A_{\text{las}} = 2 \times (1 \times 16) = 32 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6} = \frac{16(3 \times 8^2 + 16^2)}{6} = 1194.67 \text{ cm}^4$$

$$S_x = \frac{d^3}{3} = \frac{16^3}{3} = 1365.33 \text{ cm}^3$$

$$f_{u_{\text{las}}} = \phi \times 0.6 \times F_{E110xx} \times t_e$$

$$f_{u_{las}} = 0.75 \times 0.6 \times 7733 \times 1$$

$$f_{u_{las}} = 3479.85 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat V_u

$$f_{total} = f_v = \frac{V_u}{A} = \frac{22853.49}{32} = 714.17 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_e = \frac{f_{total}}{f_{u_{las}}} = \frac{714.17}{3479.85} = 0.2 \text{ cm}$$

$$a = \frac{t_e}{0.707} = \frac{0.2}{0.707} = 0.29 \text{ cm}$$

Persyaratan las minimum

$$t_{plat} = 8 \text{ mm } (7 \leq t < 10 \text{ mm}), a_{min} = 4 \text{ mm}$$

Digunakan las sudut dengan $a = 0.4 \text{ cm}$

- Sambungan las kolom dengan *diaphragm plate* pada sayap balok

$$M_u = 3032762.8 \text{ kgcm}$$

Las tumpul $t_e = 20 \text{ mm}$ (tebal *diaphragm plate*)

$$T = \frac{M_u}{d} = \frac{3032762.8}{29} = 104578 \text{ kg}$$

Kekuatan rencana las tumpul penetrasi penuh

$$\phi R_n = 0.9 \times t_e \times f_y$$

$$= 0.9 \times 2 \times 2957.18 = 5322.92 \text{ kg/cm}^2$$

Luas las tumpul

$$A_{las} = t_e \cdot d_{kolom} = 2 \times 40 = 80 \text{ cm}^2$$

Tegangan yang terjadi akibat beban tarik

$$f_{total} = \frac{104578}{80} = 1307.23 < \phi R_n = 5322.92 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{OK}$$

- Sambungan baut pada sayap balok dengan *diaphragm plate*

$$V_u = T = 104578 \text{ kg}$$

$$\phi_{baut} = 20 \text{ mm} \rightarrow A_b = 314.16 \text{ mm}^2 = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$r_1 = 0.5 \text{ (ulir tidak pada bidang geser)}$$

$$m = 1 \text{ (jumlah bidang geser)}$$

Kuat geser baut

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot r_1 \cdot f_{ub} \cdot A_b \cdot m \\ &= 0.75 \times 0.5 \times 10350 \times 3.14 \times 1 \\ &= 12193.31 \text{ kg (menentukan)}\end{aligned}$$

Kuat tumpu baut

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot 2.4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_{up} \\ &= 0.75 \times 2.4 \times 2 \times 1 \times 4180.84 \\ &= 15051 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat tarik baut

$$\begin{aligned}\phi T_n &= \phi \cdot 0.75 \cdot A_b \cdot f_{ub} \\ &= 0.75 \times 0.75 \times 3.14 \times 10350 \\ &= 18289.96 \text{ kg}\end{aligned}$$

Jumlah baut

$$n = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{104578}{12193.31} = 8.58 \approx 10 \text{ buah (5 buah setiap sisi sayap)}$$

- Perencanaan Jarak baut pada sayap balok

Jarak antar baut = 60 mm

$$3d_b \leq S \leq 15t_p \rightarrow 60 \leq 60 \leq 300$$

Jarak baut ke tepi terbebani = 50 mm

$$1.5d_b \leq S_1 \leq 4t_p + 100 \rightarrow 30 \leq 50 \leq 180$$

Jarak baut ke tepi tidak terbebani = 50 mm

$$1.5d_b \leq S \leq 12t_p \rightarrow 30 \leq 50 \leq 240$$

$$\text{Panjang pelat} = 60 \times 4 + 50 \times 2 = 340 \text{ mm}$$

- Kontrol kekuatan *diaphragm plate*

Kuat leleh

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 0.9 \times (2 \times 20) \times 2957.18 = 105926.06 \text{ kg (menentukan)}\end{aligned}$$

Kuat putus

$$\phi b_{\text{baut}} = 20 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{lubang}} = 20 + 1.5 = 21.5 \text{ mm}$$

$$A_n = 40 - 2 \times 21.5 \times 2 = 31.2 \text{ cm}^2$$

$$\mu = 1 \text{ (disambung setiap sisi)}$$

$$A_e = \mu \cdot A_n = 1 \times 31.2 = 31.2 \text{ cm}^2$$

$$\phi R_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u$$

$$= 0.75 \times 31.2 \times 5098.58 = 143168.13 \text{ kg}$$

Kontrol Geser

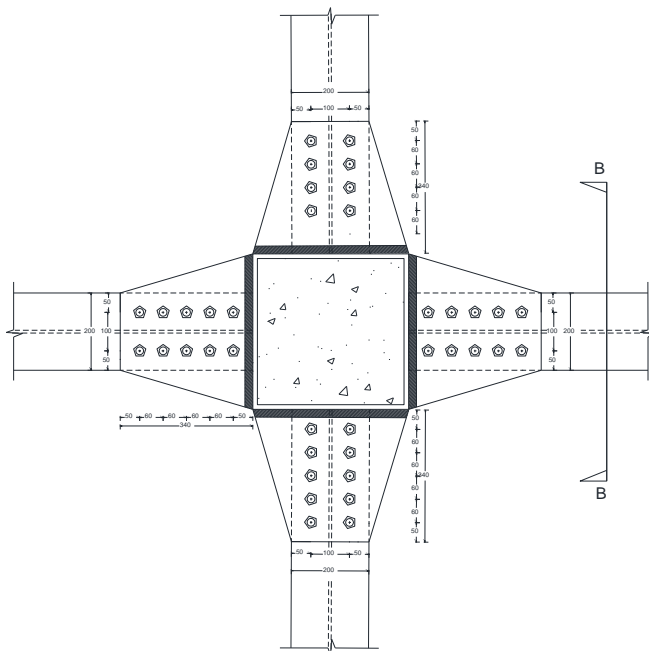
$$A_{gv} = P_{\text{pelat}} \times t_{\text{pelat}} = 340 \times 20 = 6800 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - n_{\text{baut}} \times \phi_{\text{lubang}} \times t_{\text{pelat}} = 6800 - 5 \times 21.5 \times 2 = 4650 \text{ mm}^2$$

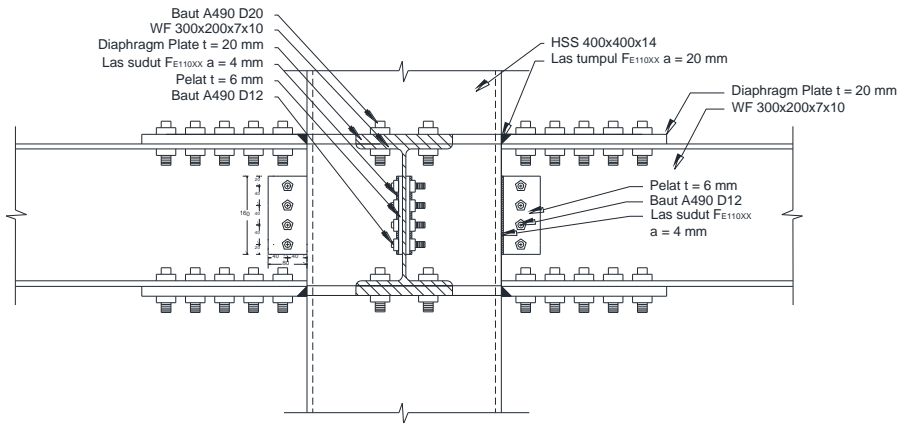
$$0.6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0.6 \times 4180.84 \times 46.5 = 142250.38 \text{ kg}$$

$$\phi \cdot R_n = 0.75 \times 0.6 f_u A_{nv} = 106687.79 \text{ kg}$$

Jadi, $\phi R_n = 105926.06 \text{ kg} > V_u = 104578 \text{ kg} \dots \text{OK}$



Gambar 4. 43 Tampak Atas Sambungan Balok Induk dengan Kolom



Gambar 4. 44 Potongan A-A Sambungan Balok Induk dengan Kolom

4.5.6 Sambungan antar Kolom

Sambungan antar kolom direncanakan menggunakan las sudut dengan pelat tambahan berdasarkan gaya maksimum yang terjadi pada analisa struktur sebagai berikut :

$$P_u = 413328.5 \text{ kg}$$

$$M_{u_x} = 13499.92 \text{ kgm}$$

$$M_{u_y} = 13464.7 \text{ kgm}$$

$$V_u = 6650.98 \text{ kg}$$

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan antar kolom.

- Kolom (HSS 400×400×14)
 - $D = 400 \text{ mm}$ $tw = 14 \text{ mm}$
 - $A = 214 \text{ cm}^2$
- Pelat penyambung
 - $t = 30 \text{ mm}$
 - Mutu profil BJ41: $f_y = 2549.29 \text{ kg/cm}^2$
 $f_u = 4180.84 \text{ kg/cm}^2$
 - Mutu las $F_{E110XX} = 110 \text{ ksi} = 7733 \text{ kg/cm}^2$

Misal $t_e = 1 \text{ cm}$

$$A_{las} = 4 \times (1 \times 40) = 160 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{(b+d)^3}{6} = \frac{(40+40)^3}{6} = 85333.33 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{(b+d)^3}{6} = \frac{(40+40)^3}{6} = 85333.33 \text{ cm}^4$$

$$S_x = b \times d + \left(\frac{d^2}{3}\right) = 40 \times 40 + \left(\frac{40^2}{3}\right) = 2133.33 \text{ cm}^3$$

$$S_y = b \times d + \left(\frac{d^2}{3}\right) = 40 \times 40 + \left(\frac{40^2}{3}\right) = 2133.33 \text{ cm}^3$$

$$f_{u_{las}} = \emptyset \times 0,6 \times F_{E110xx} \times t_e$$

$$f_{u_{las}} = 0.75 \times 0.6 \times 7733 \times 1$$

$$f_{u_{las}} = 3479.85 \text{ kg/cm}^2$$

- Akibat P_u

$$f_v = \frac{P_u}{A} + \frac{M_{ux}}{S_x} + \frac{M_{uy}}{S_y} = \frac{413328.5}{160} + \frac{13499.92}{2133.33} + \frac{13464.7}{2133.33}$$

$$= 3847.27 \text{ kg/cm}^2$$

- Akibat V_u

$$f_h = \frac{V_u}{A} = \frac{6650.98}{160} = 41.57 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{total} = \sqrt{(f_v)^2 + (f_h)^2}$$

$$f_{total} = \sqrt{(3847.27)^2 + (41.57)^2} = 3847.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_e = \frac{f_{total}}{f_{u_{las}}} = \frac{3847.5}{3479.85} = 1.1 \text{ cm}$$

$$a = \frac{f_{te}}{0,707} = \frac{1.1}{0,707} = 1.56 \text{ cm}$$

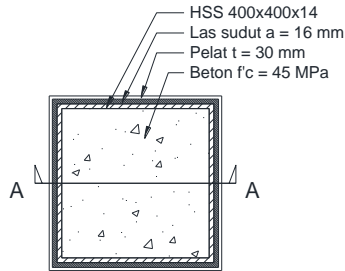
Syarat tebal kaki las :

$$- t_{plat} = 26 \text{ mm } (t > 15 \text{ mm}), a_{min} = 6 \text{ mm}$$

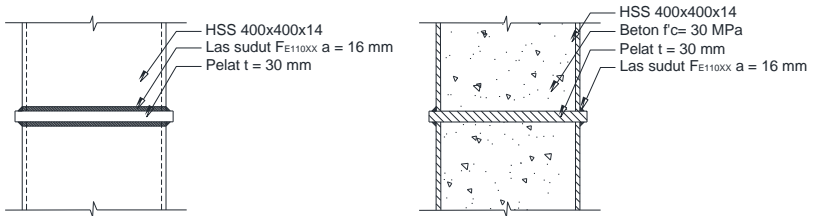
$$- a_{eff \text{ maks}} = \frac{1.41 \times f_u \times t_2}{f_{E110xx}} = \frac{1.41 \times 4180.84 \times 26}{7733}$$

$$a_{eff \text{ maks}} = 2.28 \text{ cm}$$

Digunakan las sudut dengan $a = 1.6 \text{ cm}$



Gambar 4. 45 Tampak atas sambungan kolom



Gambar 4. 46 Potongan sambungan antar kolom

4.5.7 Sambungan Kolom dengan *Base plate*

Sambungan kolom dengan *base plate* direncanakan menggunakan las sudut dengan pelat tambahan berdasarkan gaya maksimum yang terjadi pada analisa struktur sebagai berikut :

$$P_u = 413328.5 \text{ kg}$$

$$M_{u_x} = 13499.92 \text{ kgm}$$

$$M_{u_y} = 13464.7 \text{ kgm}$$

$$V_u = 6650.98 \text{ kg}$$

Berikut adalah data profil yang dipakai dalam perencanaan sambungan kolom dengan *base plate*.

- Kolom (HSS 400×400×14)
 $D = 400 \text{ mm}$ $t_w = 14 \text{ mm}$
 $A = 214 \text{ cm}^2$

- *Base plate*

$$H = 600 \text{ mm}$$

$$B = 600 \text{ mm}$$

$$t_p = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu profil BJ41: } f_y = 2549.29 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 4180.84 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Mutu las } F_{E110xx} = 110 \text{ ksi} = 7733 \text{ kg/cm}^2$$

- Sambungan las sudut pada *base plate*

$$\text{Misal } t_e = 1 \text{ cm}$$

$$A_{\text{las}} = 4 \times (1 \times 40) = 160 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{(b+d)^3}{6} = \frac{(40+40)^3}{6} = 85333.33 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{(b+d)^3}{6} = \frac{(40+40)^3}{6} = 85333.33 \text{ cm}^4$$

$$S_x = b \times d + \left(\frac{d^2}{3}\right) = 40 \times 40 + \left(\frac{40^2}{3}\right) = 2133.33 \text{ cm}^3$$

$$S_y = b \times d + \left(\frac{d^2}{3}\right) = 40 \times 40 + \left(\frac{40^2}{3}\right) = 2133.33 \text{ cm}^3$$

$$f_{u_{\text{las}}} = \emptyset \times 0,6 \times F_{E110xx} \times t_e$$

$$f_{u_{\text{las}}} = 0.75 \times 0.6 \times 7733 \times 1$$

$$f_{u_{\text{las}}} = 3479.85 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat P_u

$$f_v = \frac{P_u}{A} + \frac{M_{ux}}{S_x} + \frac{M_{uy}}{S_y} = \frac{413328.5}{160} + \frac{13499.92}{2133.33} + \frac{13464.7}{2133.33}$$

$$= 3847.27 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat V_u

$$f_h = \frac{V_u}{A} = \frac{6650.98}{160} = 41.57 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{\text{total}} = \sqrt{(f_v)^2 + (f_h)^2}$$

$$f_{\text{total}} = \sqrt{(3847.27)^2 + (41.57)^2} = 3847.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_e = \frac{f_{\text{total}}}{f_{u_{\text{las}}}} = \frac{3847.5}{3479.85} = 1.1 \text{ cm}$$

$$a = \frac{t_e}{0,707} = \frac{1.1}{0,707} = 1.56 \text{ cm}$$

Syarat tebal kaki las :

- $t_{\text{plat}} = 26 \text{ mm } (t > 15 \text{ mm}), a_{\text{min}} = 6 \text{ mm}$
- $a_{\text{eff maks}} = \frac{1.41 \times f_u \times t_2}{f_{E110xx}} = \frac{1.41 \times 4180.84 \times 60}{7733}$
 $a_{\text{eff maks}} = 4.57 \text{ cm}$

Digunakan las sudut dengan $a = 1.6 \text{ cm}$

- Perhitungan *base plate*

Periksa eksentrisitas gaya:

$$e = \frac{Mu}{Pu} = \frac{13499.92}{413328.5} = 3.27$$

$$1/6 h = 1/6 \cdot 60 \text{ cm} = 10 \text{ cm} > e = 3.27 \text{ cm}$$

Karena $1/6 h > e$, maka tidak terjadi gaya tarik, sehingga tidak perlu memasang gaya angkur (dipasang angkur praktis)

Direncanakan diameter baut angkur : $20 \text{ mm} = 2 \text{ cm}$

$$h' \geq w_e + c_1$$

$$w_e = \text{jarak baut ke tepi} = 2 \cdot db = 2 \cdot 2 = 4 \text{ cm}$$

$$c_1 = \text{jarak minimum untuk kunci} = 27/16 \cdot 2 = 3.375 \text{ cm}$$

$$h' \geq 4 + 3.375 = 7.375 \text{ cm}$$

$$h \geq H - 0.5h' = 60 - 0.5 \times 7.375 = 56.313 \text{ cm}$$

$$B = 70 \text{ cm}$$

Perencanaan dimensi beton :

Panjang : 700 mm

Lebar : 700 mm

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{700.700}{600.600}} = 1,2$$

- Perencanaan *base plate* (sumbu X)

Akibat beban P_u

$$f_{pa} = \frac{Pu}{B.H} = \frac{413328.5}{60 \times 60} = 114.81 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat beban Mu_x

$$f_{pb} = \frac{6 \cdot Mu}{B \cdot N^2} = \frac{6 \times 13499.92}{60 \times 60^2} = 37.5 \text{ kg/cm}^2$$

Tekanan maksimal

$$f_{p \max} = f_{pa} + f_{pb} = 114.81 + 37.5 = 152.31 \text{ kg/cm}^2$$

Tekanan yang dapat diterima kolom

$$f_{p \text{ avail}} = \phi \cdot 0.85 \cdot f'c = 0.90 \times 0.85 \times 30 = 225.14 \text{ kg kg/cm}^2$$

$$f_{p \text{ avail}} = 225.14 \text{ kg kg/cm}^2 > f_{p \max} = 152.31 \text{ kg/cm}^2 \text{ ...OK}$$

M_{upl} pada jarak m setiap lebar 1 cm pelat

$$m = \frac{N - 0.95 \cdot d}{2} = \frac{60 - 0.95 \cdot 40}{2} = 11 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} M_{upl} &= \left(f_{p \max} - 2 \cdot f_{pb} \cdot \frac{m}{N} \right) \cdot \left(\frac{m^2}{2} \right) + \left(2 \cdot f_{pb} \times \frac{m}{N} \right) \left(\frac{m^2}{3} \right) \\ &= \left(152.31 - 2 \times 37.5 \times \frac{11}{60} \right) \left(\frac{11^2}{2} \right) + \left(2 \times 37.5 \times \frac{11}{60} \right) \left(\frac{11^2}{3} \right) \\ &= 8937.66 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol tebal *base plate*

$$t = \sqrt{\frac{4 \cdot M_{upl}}{0.9 \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{4 \times 8937.66}{0.9 \times 2549.29}} = 3.95 \text{ cm}$$

$$t = 4 \text{ cm} > 3.95 \text{ cm ...OK}$$

- Perencanaan *base plate* (sumbu Y)

Akibat beban Pu

$$f_{pa} = \frac{Pu}{B \cdot H} = \frac{413328.5}{60 \times 60} = 114.81 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat beban Mu_x

$$f_{pb} = \frac{6 \cdot Mu}{B \cdot N^2} = \frac{6 \times 13464.7}{60 \times 60^2} = 37.4 \text{ kg/cm}^2$$

Tekanan maksimal

$$f_{p \max} = f_{pa} + f_{pb} = 114.81 + 37.4 = 152.21 \text{ kg/cm}^2$$

Tekanan yang dapat diterima kolom

$$f_{p \text{ avail}} = \phi \cdot 0.85 \cdot f'c = 0.90 \times 0.85 \times 30 = 225.14 \text{ kg kg/cm}^2$$

$$f_{p \text{ avail}} = 225.14 \text{ kg kg/cm}^2 > f_{p \max} = 152.21 \text{ kg/cm}^2 \text{ ...OK}$$

M_{upl} pada jarak m setiap lebar 1 cm pelat

$$m = \frac{N - 0.95 \cdot d}{2} = \frac{60 - 0.95 \cdot 40}{2} = 11 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{upl} &= \left(f_{pmax} - 2 \cdot f_{pb} \cdot \frac{m}{N} \right) \cdot \left(\frac{m^2}{2} \right) + \left(2 \cdot f_{pb} \times \frac{m}{N} \right) \left(\frac{m^2}{3} \right) \\
 &= \left(152.21 - 2 \times 37.4 \times \frac{11}{60} \right) \left(\frac{11^2}{2} \right) + \left(2 \times 37.4 \times \frac{11}{60} \right) \left(\frac{11^2}{3} \right) \\
 &= 8932.47 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol tebal *base plate*

$$t = \sqrt{\frac{4 \cdot M_{upl}}{0.9 \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{4 \times 8932.47}{0.9 \times 2549.29}} = 3.95 \text{ cm}$$

$$t = 4 \text{ cm} > 3.95 \text{ cm} \dots \text{OK}$$

- Perencanaan pelat pengaku

Pelat pengaku direncanakan seperti dengan dengan balok yang menerima beban momen dari pelat landas. Dimensi pelat minimum menurut SNI-1729-2015 Pasal G3-3

Tebal pelat pengaku minimum (ts)

$$t_s \geq 0.5 \cdot t_f \rightarrow 0.5 \times 1.4 = 0.7 \text{ cm}$$

Direncanakan tebal pengaku 2×tebal disambung, maka tebal pelat pengaku (ts) = 1,5 cm dengan las minimum (a= 5mm)

- Perencanaan baut angkur

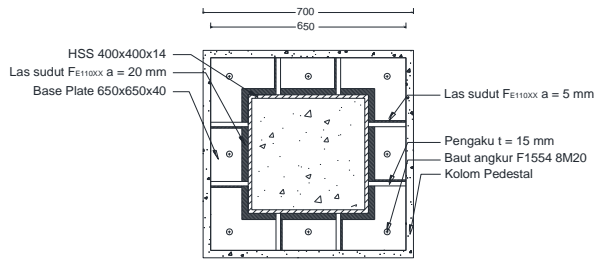
Karena $1/6 h > e$, maka dipasang angkur praktis. Dipasang 8 buah baut angkur M20 mm mutu F1554 Grade 105 untuk menjaga stabilitas struktur.

Panjang baut angkur

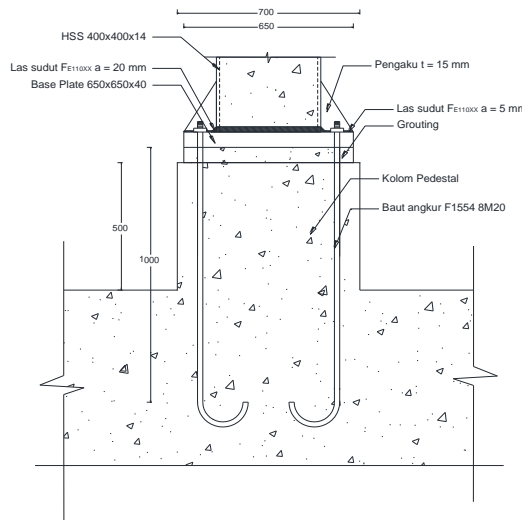
$$\begin{aligned}
 \frac{l_d}{db} &= \frac{3fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{5 \cdot \sqrt{f'c}} \\
 l_d &= \frac{3 \times fy \times \alpha \times \beta \times \lambda}{5 \times \sqrt{f'c}} = \frac{3 \times 2549.29 \times 1 \times 1 \times 1}{5 \times \sqrt{30}}
 \end{aligned}$$

$$l_d = 87.732 \text{ cm} \approx 100 \text{ cm}$$

Maka panjang angkur yang dibutuhkan adalah 100 cm.



Gambar 4. 47 Tampak Atas Sambungan Kolom dengan *Base plate*



Gambar 4. 48 Tampak Samping Sambungan Kolom dengan *Base plate*

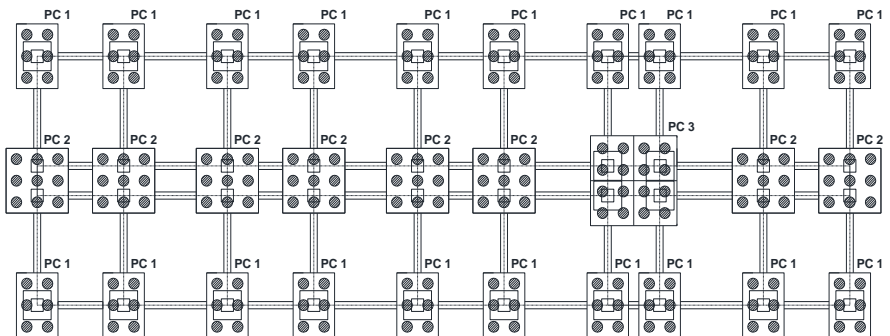
4.6 Perencanaan Struktur Bawah

4.6.1 Perencanaan Pondasi

Pondasi adalah konstruksi bagian dasar atau konstruksi bangunan bawah yang berfungsi menopang struktur bangunan atas untuk di teruskan secara merata ke lapisan tanah.

Pondasi pada gedung apartemen Purimas Surabaya seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.44 dibawah direncanakan memakai pondasi tiang pancang *Spun Pile* dengan penampang bulat berongga (*Round Hollow*) dari produk dari PT. WIKABETON. Spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

- Diameter tiang : 600 mm
- Tebal tiang : 100 mm
- Klasifikasi : A1
- *Concrete cross section* : 1570,8 cm²
- Berat : 393 kg/m
- *Bending moment crack* : 17 tm
- *Bending momen ultimate* : 25,5 tm
- *Allowable axial load* : 252,7 t



Gambar 4. 49 Denah Rencana Pondasi

4.6.1.1 Daya Dukung Tanah Tiang Pancang Tunggal

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh adanya daya dukung perlawanan tanah dari unsur ujung tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_s). Sehingga, daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s.$$

Perhitungan daya dukung tanah ini dilakukan berdasarkan hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) dengan kedalaman 30 m. Perhitungan dilakukan dengan metode Luciano Decourt.

Tabel 4. 18 Data Tanah SPT dan Nilai Koreksi (N')

Keterangan	Kedalaman (m)	Tebal (m)	N	N' (N koreksi)
Lapisan 1	0	0	0	0
Lapisan 2	2	2	29	22
Lapisan 3	4	2	1	1
Lapisan 4	6	2	1	1
Lapisan 5	8	2	1	1
Lapisan 6	10	2	1	1
Lapisan 7	12	2	1	1
Lapisan 8	14	2	2	2
Lapisan 9	16	2	19	17
Lapisan 10	18	2	18	16.5
Lapisan 11	20	2	20	17.5
Lapisan 12	22	2	22	18.5
Lapisan 13	24	2	16	15.5
Lapisan 14	26	2	18	16.5
Lapisan 15	28	2	14	14
Lapisan 16	30	2	22	18.5
Lapisan 17	32	2	18	16.5
Lapisan 18	34	2	14	14
Lapisan 19	36	2	22	18.5
Lapisan 20	38	2	18	16.5
Lapisan 21	40	2	14	14

Harga N untuk lempung atau pasir berlanau di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi N' berdasarkan perumusan sebagai berikut :

$$N' = 15 + 0.5(N-15) = \text{untuk } N > 15$$

Contoh perhitungan N koreksi pada lapisan 16 :

$$N' = 15 + 0.5(22-15) = 18.5$$

Perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal

$$A_{\text{ujung}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 60^2 = 2827.43 \text{ cm}^2$$

$$\text{Keliling tiang} = \pi \cdot 60 = 188.49 \text{ cm}$$

$$N_p = (14 + 18.5 + 16.5) = 16.33$$

$$\alpha = 1 \text{ (driven pile)}$$

$$K = 40 \text{ t/m}^2 \text{ (koefisien karakteristik tanah)}$$

$$N_s = (0 + 22 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 2 + 17 + 16.5 + 17.5 + 18.5 + 15.5 + 16.5 + 14 + 18.5) / 16 = 10.188$$

$$\beta = 1 \text{ (driven pile)}$$

$$q_s = \beta \times \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) = 1 \times \left(\frac{10.188}{3} + 1 \right) = 4.396 \text{ t/m}^2$$

$$A_s = \text{keliling tiang} \times \text{kedalaman tiang} \\ = 1.8849 \times 30 = 56.549 \text{ m}^2$$

$$Q_p = \alpha \times N_p \times K \times A_{\text{ujung}} \\ = 1 \times 16.33 \times 40 \times 0.2827 = 184.726 \text{ ton}$$

$$Q_s = q_s \times A_s \\ = 4.396 \times 56.549 = 248.579 \text{ ton}$$

$$Q_u = Q_p + Q_s \\ = 184.726 + 248.579 = 433.304 \text{ ton}$$

Daya dukung ijin dari satu tiang pancang yang berdiri sendiri adalah daya dukung tiang total dibagi dengan suatu angka keamanan (SF).

$$P_{\text{ijin 1 tiang}} = \frac{Q_u}{SF} = \frac{433.304}{3} = 144.435 \text{ ton}$$

P_{ijin} tersebut dibandingkan dengan *allowable axial load* pada spesifikasi sebesar $P_{\text{allow}} = 252.7 > P_{\text{ijin 1 tiang}}$. Sehingga, $P_{\text{ijin 1 tiang}} = 144.435 \text{ ton}$.

4.6.1.2 Daya Dukung Tanah Tiang Pancang Kelompok

Tiang pancang dalam 1 grup (kelompok) disatukan dengan menggunakan *pilecap* diatasnya. Pada tugas akhir ini direncanakan menggunakan 3 tipe *pilecap* dengan konfigurasi tiang pancang yang berbeda. Berikut adalah contoh perhitungan daya dukung tiang pancang dalam 1 grup pada konfigurasi tipe 1.

$$\text{Dimensi } \textit{pilecap} = 240 \text{ cm} \times 360 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$$

$$\text{Jumlah tiang pancang} = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah baris (m)} = 3$$

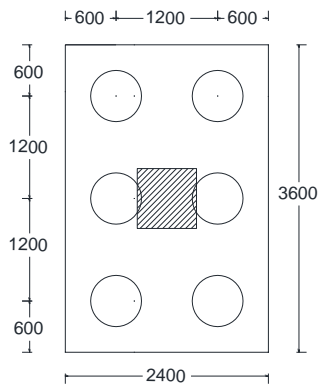
$$\text{Jumlah kolom (n)} = 2$$

$$\text{Jarak antar tiang pancang (S)} = 120 \text{ cm}$$

$$2D \leq S \leq 3D \rightarrow 120 \leq 120 \leq 180$$

$$\text{Jarak tiang pancang ke tepi } \textit{pilecap} (S_1) = 60 \text{ cm}$$

$$S_1 \geq 3D \rightarrow 60 \geq 60$$



Gambar 4. 50 Konfigurasi Tiang Pancang pada *Pilecap* Tipe 1

Daya dukung tiang pancang kelompok harus dikoreksi dengan koefisien efisiensi (C_e). Menurut Converse-Labarre, C_e dihitung menggunakan rumus berikut.

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{D}{S}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$= 1 - \frac{\arctan(\frac{60}{120})}{90} \times \left(2 - \frac{1}{3} - \frac{1}{2}\right)$$

$$= 0.656$$

$$P_{ijin} \text{ grup} = C_e \times P_{ijin} \text{ 1 tiang}$$

$$= 0.656 \times 144.435$$

$$= 94.697 \text{ ton}$$

4.6.1.3 Repartisi Beban di Atas Tiang Pancang Kelompok

Konfigurasi tiang pancang kelompok yang disatukan oleh *pilecap* harus dapat memikul beban - beban vertikal dan momen yang terjadi pada kolom yang berada di atas *pilecap*. Berikut adalah contoh perhitungan repartisi beban diatas tiang pancang kelompok pada konfigurasi tipe 1.

Beban maksimum yang terjadi pada *pilecap* tipe 1 adalah sebagai berikut :

$$M_x = 13499.92 \text{ kgm}$$

$$M_y = 13464.7 \text{ kgm}$$

$$V = 413328.47 \text{ kg}$$

$$x = 0.6 \text{ m}$$

$$y = 1.2 \text{ m}$$

$$\Sigma x^2 = 6 \times 0.6 = 2.16 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = 4 \times 1.2 = 5.76 \text{ m}^2$$

$$P_v = \frac{V}{n} + \frac{M_x y}{\Sigma y^2} + \frac{M_y x}{\Sigma x^2}$$

$$= \frac{413328.47}{6} + \frac{13499.92 \times 1.2}{5.76} + \frac{13464.7 \times 0.6}{2.16}$$

$$= 75440.756 \text{ kg}$$

$$= 75.44 \text{ ton} < P_{ijin} \text{ grup} = 94.697 \text{ ton} \dots \text{OK}$$

4.6.1.4 Kontrol Tiang Pancang terhadap Gaya Lateral

Tiang pancang dikontrol terhadap gaya lateral yang mengakibatkan defleksi dan momen pada sebuah tiang pancang. Berikut adalah kontrol sebuah tiang pancang terhadap gaya lateral:

$$H = 6650.98 \text{ kg} = 6.65 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah tiang pancang} = 6 \text{ buah}$$

$$P = H/n = 6.65/6 = 1.11 \text{ ton}$$

$$I = \frac{1}{64} \pi (d^2 - di^2) = \frac{1}{64} \pi (0.6^2 - 0.5^2) = 0.0054 \text{ m}^4$$

$$Cu = 1.38 \text{ t/m}^2$$

$$qu = 2 Cu = 2.76 \text{ t/m}^2 = 2.7 \text{ tsf}$$

$$f = 2.5 \text{ ton/ft}^3 \text{ (grafik)}$$

$$= 0.08 \text{ t/m}^2$$

$$= 80 \text{ t/m}^3$$

$$E = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{50} = 33234.02 \text{ N/mm}^2$$

$$= 332340187 \text{ t/m}^2$$

$$T = \left(\frac{E \cdot I}{f} \right)^{1/5} = \left(\frac{332340187 \cdot 0.0054}{80} \right)^{1/5} = 7.42 \text{ m}$$

$$L = \text{kedalaman tiang pancang} = 30 \text{ m}$$

$$L/T = 30/7.42 = 4.04$$

- Kontrol Defleksi

$$\text{Defleksi ijin} = 2.5 \text{ cm}$$

$$\text{Koefisien defleksi (Fd)} = 0.96 \text{ (grafik)}$$

$$\Delta d = \frac{F_d \cdot P \cdot T^3}{E \cdot I} = \frac{0.96 \cdot 1.11 \cdot 7.42^3}{332340187 \cdot 0.0054} = 0.00024 \text{ m}$$

$$= 0.024 \text{ cm} < 2.5 \text{ cm} \dots \text{OK}$$

- Kontrol Momen

$$\text{Momen bending crack} = 25.5 \text{ tm}$$

$$\text{Koefisien momen (Fm)} = -0.85 \text{ (grafik)}$$

$$M_p = F_m (P \cdot T)$$

$$= -0.85 (1.11 \times 7.42) = -7 \text{ tm}$$

$$= 7 < 25.5 \text{ tm} \dots \text{OK}$$

4.6.2 Perencanaan *Pilecap*

4.6.2.1 Kontrol Geser *Pilecap*

Kontrol geser *pilecap* ini dilakukan untuk mengetahui gaya geser yang terjadi akibat reaksi pedestal dan tiang pancang dapat dipikul oleh *pilecap*. Kontrol geser *pilecap* dihitung sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1, dengan nilai V_c terkecil dari :

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

$$V_{c2} = 0,083 \times \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

$$V_{c3} = 0,333 \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

Berikut adalah contoh perhitungan *pilecap* pada konfigurasi tiang pancang tipe 1.

Dimensi pedestal = 70 cm × 70 cm

Dimensi *pilecap* = 240 cm × 360 cm × 100 cm

Tulangan utama = 25 mm

Selimut beton = 75 mm

f'_c = 30 MPa

α = 40 (interior)

= 30 (tepi)

= 20 (sudut)

- Kontrol geser akibat pedestal

β (rasio sisi panjang terhadap pendek pedestal)

$$= 70/70 = 1$$

d' (tebal efektif *pilecap*)

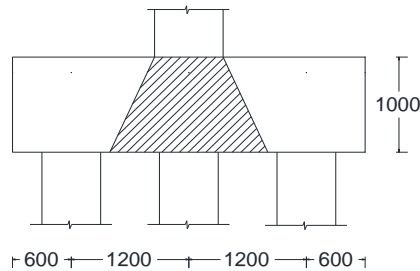
$$= 1000 - 75 - 0.5 \times 25 = 912.5 \text{ mm}$$

b_o (keliling penampang kritis)

$$= 2(b+d') + 2(h+d')$$

$$= 2(700+912.5) + 2(700+912.5) = 6450 \text{ mm}$$

$$B = H = 6450/4 = 1612.5 \text{ mm (penampang kritis)}$$



Gambar 4. 51 Penampang Kritis Pilecap akibat Pedestal

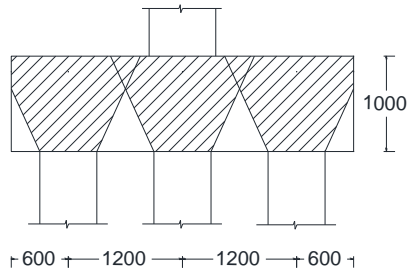
$$\begin{aligned}
 V_{c1} &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d \\
 &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 6450 \times 912,5 \\
 &= 16440816,8 \text{ N} \\
 V_{c2} &= 0,083 \times \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d \\
 &= 0,083 \times \left(2 + \frac{20 \times 912,5}{6450} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 6450 \times 912,5 \\
 &= 20492669,8 \text{ N} \\
 V_{c3} &= 0,333 \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d \\
 &= 0,333 \times 1 \times \sqrt{30} \times 6450 \times 912,5 \\
 &= 10638175,6 \text{ N (menentukan)} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times V_c \\
 &= 0,75 \times 1084421,6 = 813316,18 \text{ kg} \\
 V_u &= V + W_{\text{beton}} - n \times P_{\text{ijin grup}} + V_{\text{sloof}} \\
 &= 413328,47 + (2400 \times 1 \times 1,612^2) - 2 \times 94,697 + \\
 &\quad 2 \times 4883,172 \\
 &= 239941,34 \text{ kg} < \phi V_c = 813316,18 \text{ kg} \quad \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Kontrol geser akibat tiang pancang

$$\beta = 1$$

b_o (keliling penampang kritis)

$$= \pi (d_{\text{tiang}} + d') = \pi (600 + 912,5) = 4753,57$$



Gambar 4. 52 Penampang Kritis Pilecap akibat Tiang Pancang

$$\begin{aligned}
 V_{c1} &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d \\
 &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 4754 \times 912,5 \\
 &= 12111806,7 \text{ N} \\
 V_{c2} &= 0,083 \times \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d \\
 &= 0,083 \times \left(2 + \frac{20 \times 912,5}{4754} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 4754 \times 912,5 \\
 &= 11512946,9 \text{ N} \\
 V_{c3} &= 0,333 \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d \\
 &= 0,333 \times 1 \times \sqrt{30} \times 4754 \times 912,5 \\
 &= 7837051,42 \text{ N (menentukan)} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times V_c \\
 &= 0,75 \times 798883,94 = 599162,95 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= P_{ijin \text{ grup}} \\
 &= 94697 \text{ kg} < \phi V_c = 599162,95 \text{ kg} \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

4.6.2.2 Penulangan *Pilecap*

Untuk penulangan lentur, *pilecap* dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang dihasilkan

dari tiang pancang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu. Berikut adalah contoh perhitungan tulangan lentur pada konfigurasi tiang pancang tipe 1.

Data perencanaan :

Sisi bawah *pilecap*

Tulangan utama D25 mm, $A_s = 490.87 \text{ mm}^2$

Sisi atas *pilecap*

Tulangan utama D18 mm, $A_s = 254.47 \text{ mm}^2$

Selimut beton = 75 mm

$d' \text{ arah } x = 1000 - 75 - 0.5 \times 25 = 912.5 \text{ mm}$

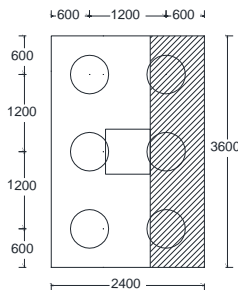
$d' \text{ arah } y = 1000 - 75 - 25 - 0.5 \times 25 = 887.5 \text{ mm}$

Mutu bahan :

$f'_c = 30 \text{ MPa}$

$f_y = 420 \text{ MPa}$

- Penulangan Arah X



Gambar 4. 53 Daerah Beban Penulangan Lentur Arah Sumbu X

$$P = P_{ijin \text{ grup}} = 94.697 \text{ ton} = 928976.83 \text{ N}$$

$$n = 3$$

$$W_{pilecap} = 1.2 \times 2400 \times 3.6 \times 1$$

$$\begin{aligned}
&= 10368 \text{ kg/m} = 101.71 \text{ N/mm} \\
\text{Mu} &= 3 \times 928976.83 \times 250 - 0.5 \times 101.71 \times 850^2 \\
&= 659989859 \text{ Nmm} \\
\text{Mn} &= \frac{\text{Mu}}{\phi} = \frac{659989859}{0.9} = 733322066 \text{ Nmm} \\
m &= \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{420}{0.85 \times 30} = 16.47 \\
\rho_{\min} &= 0.0018 \\
\text{Rn} &= \frac{\text{Mn}}{bd^2} = \frac{733322066}{3600 \times 887.5^2} = 0.2586 \text{ N/mm}^2 \\
\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot \text{Rn}}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{16.47} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16.47 \times 0.2586}{420}} \right) \\
&= 0.00097 < \rho_{\min} = 0.0018 \\
\rho_{\text{pakai}} &= 0.0018
\end{aligned}$$

Tulangan sisi bawah *pilecap*

$$\begin{aligned}
\text{As}_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times d' \\
&= 0.0018 \times 3600 \times 887.5 = 5751 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{\text{As}_{\text{perlu}}}{\text{As}} = \frac{5751}{490.87} = 11.7158 \approx 12 \text{ buah}$$

Jarak Tulangan

$$s = \frac{(3600 - 2 \times 75 - 25)}{(12 - 1)} = 306.818 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} = 300 \text{ mm}$$

Tulangan sisi atas *pilecap*

$$\begin{aligned}
\text{As}_{\text{perlu}} &= 0.5 \times \rho \times b \times d' \\
&= 0.5 \times 0.0018 \times 3600 \times 887.5 = 2875.5 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Jumlah tulangan

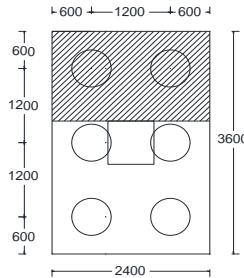
$$n = \frac{\text{As}_{\text{perlu}}}{\text{As}} = \frac{2875.5}{254.47} = 11.3 \approx 12 \text{ buah}$$

Jarak Tulangan

$$s = \frac{(3600 - 2 \times 75 - 18)}{(12 - 1)} = 306.818 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} = 300 \text{ mm}$$

- Penulangan Arah Y



Gambar 4. 54 Daerah Beban Penulangan Lentur Arah Sumbu Y

$$P = P_{\text{ijin grup}} = 94.697 \text{ ton} = 928976.83 \text{ N}$$

$$n = 2$$

$$W_{\text{pilecap}} = 1.2 \times 2400 \times 2.4 \times 1$$

$$= 6912 \text{ kg/m} = 67.807 \text{ N/mm}$$

$$Mu = 2 \times 928976.83 \times 850 - 0.5 \times 67.807 \times 1450^2$$

$$= 1507978804 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{1507978804}{0.9} = 1675532004 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 30} = 16.47$$

$$\rho_{\min} = 0.0018$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{1675532004}{2400 \times 912.5^2} = 0.838 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{16.47} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16.47 \times 0.838}{420}} \right)$$

$$= 0.002 < \rho_{\min} = 0.0018$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.002$$

Tulangan sisi bawah *pilecap*

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d' \\ &= 0.002 \times 2400 \times 912.5 = 4446.24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s} = \frac{4446.24}{490.87} = 9.06 \approx 10 \text{ buah}$$

Jarak Tulangan

$$s = \frac{(2400 - 2 \times 75 - 25)}{(10 - 1)} = 247.22 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} = 240 \text{ mm}$$

Tulangan sisi atas *pilecap*

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 0.5 \times \rho \times b \times d' \\ &= 0.5 \times 0.002 \times 2400 \times 912.5 = 2223.12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s} = \frac{2223.12}{254.47} = 8.74 \approx 9 \text{ buah}$$

Jarak Tulangan

$$s = \frac{(2400 - 2 \times 75 - 18)}{(9 - 1)} = 279 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} = 240 \text{ mm}$$

4.6.2.3 Rekapitulasi Tipe *Pilecap*

Berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan konfigurasi tiang pancang dan penulangan pilecap.

Pilecap Tipe 1		
Dimensi	240x360x100 cm	
Diameter Tiang	60 cm	
Jarak antar tiang	120 cm	
Jarak ke tepi	60 cm	
Konfigurasi Tiang	X	2
	Y	3
Tulangan lentur X	Sisi bawah	D25-300
	Sisi atas	D18-300
Tulangan lentur Y	Sisi bawah	D25-240
	Sisi atas	D18-240
Pilecap Tipe 2		
Dimensi	360x360x100 cm	
Diameter Tiang	60 cm	
Jarak antar tiang	120 cm	
Jarak ke tepi	60 cm	
Konfigurasi Tiang	X	3
	Y	3
Tulangan lentur X	Sisi bawah	D25-280
	Sisi atas	D18-280
Tulangan lentur Y	Sisi bawah	D25-210
	Sisi atas	D18-210
Pilecap Tipe 3		
Dimensi	480x480x100 cm	
Diameter Tiang	60 cm	
Jarak antar tiang	120 cm	
Jarak ke tepi	60 cm	
Konfigurasi Tiang	X	4
	Y	4
Tulangan lentur X	Sisi bawah	D25-250
	Sisi atas	D18-250
Tulangan lentur Y	Sisi bawah	D25-230
	Sisi atas	D18-230

4.6.3 Perencanaan Kolom Pedestal

Kolom pedestal berfungsi untuk menghubungkan kolom baja dengan *pilecap* dengan menggunakan *baseplate*. Gaya yang dipakai pada perencanaan kolom pedestal ini menggunakan hasil analisa struktur. Berikut adalah data perencanaan kolom pedestal.

$$Mu_x = 13499.92 \text{ kgm}$$

$$Mu_y = 13464.7 \text{ kgm}$$

$$Pu = 413328.5 \text{ kg}$$

$$Vu = 6650.98 \text{ kg}$$

Dimensi kolom pedestal

$$B = 70 \text{ cm}$$

$$H = 70 \text{ cm}$$

$$Ag = 4900 \text{ cm}^2$$

Mutu bahan

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$fy = 420 \text{ MPa}$$

- Penulangan utama pedestal

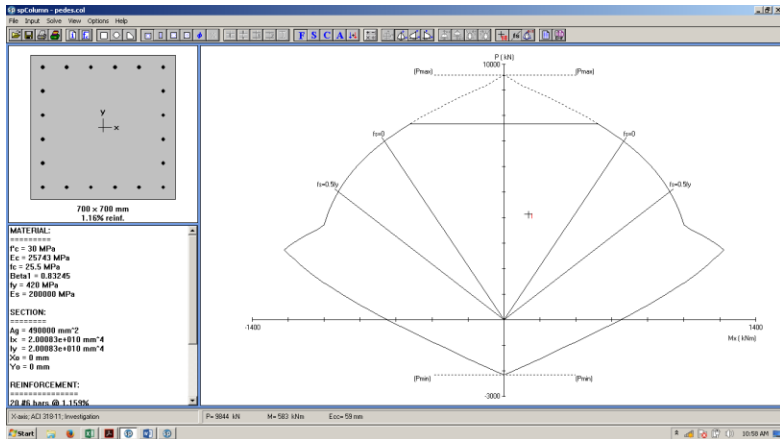
$$\text{Tulangan utama D20 mm, } As = 314.16 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan transversal } \varnothing 10 \text{ mm, } As = 78.54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$d' = 700 - 40 - 10 - 0.5 \times 20 = 640 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan software spcolumn, maka didapat rasio tulangan (ρ) = 0.0116 %.



Gambar 4. 55 Hasil Analisa Kolom Pedestal menggunakan spcolumn

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d'$$

$$= 0.0116 \times 700 \times 640 = 5196.8 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan utama 20D20 (dipasang merata 4 sisi)

$$A_s = 6283.185 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 5196.8 \text{ mm}^2 \text{ ...OK}$$

- Penulangan geser pedestal

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton adalah sebagai berikut.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d' \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right)$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 700 \times 640 \left(1 + \frac{413328.5}{14 \times 490000} \right)$$

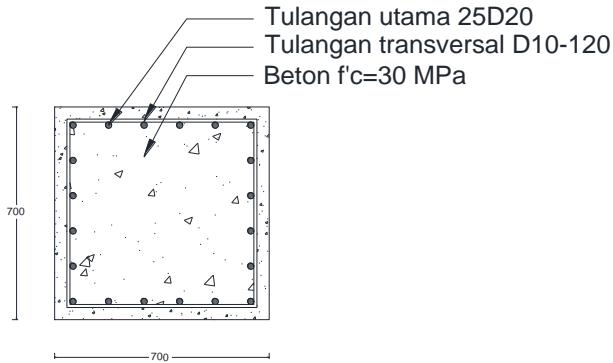
$$= 650694.5 \text{ N}$$

$$= 66329.72 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 0.75 V_c = 0.75 \times 66329.72 = 49747.29 \text{ kg}$$

Karena $V_u = 6650.98 \text{ kg} < \phi V_c$, sehingga tidak perlu tulangan geser.

Jadi dipasang tulangan geser praktis $\varnothing 10$ dengan jarak paling minimum dari 150 mm atau $6d_b$ (120 mm).
Sehingga, pakai $\varnothing 10$ - 120 mm.



Gambar 4. 56 Penulangan Kolom Pedestal

4.6.4 Perencanaan Balok *Sloof*

Balok *sloof* berfungsi sebagai pengaku yang menghubungkan antar *pilecap*. Hal itu diperlukan jika terjadi penurunan, maka seluruh struktur bangunan dapat bergerak kebawah bersama. Balok *sloof* direncanakan mampu memikul berat sendiri dan dinding yang ada diatasnya. Berikut adalah perencanaan balok *sloof*.

Tinggi dinding = 4.3 m

Berat dinding = 132 kg/m^2

Gaya aksial kolom = 413328.47 kg

Gaya aksial *sloof* = $10\% \times 413328.47 = 41332.847 \text{ kg}$

Data perencanaan :

$L = 6100 \text{ mm}$

$b \geq L/20 = 6100/20 = 305$

$\leq 450 \text{ mm}$

Pakai

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

Mutu bahan:

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0.832 \text{ (} f'_c = 30 \text{ MPa)}$$

$$\text{Tulangan utama D16 mm, } A_s = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan geser } \emptyset 10 \text{ mm, } A_s = 78.54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Selimut beton} = 50 \text{ mm}$$

$$d' = 600 - 50 - 10 - 0.5 \times 16 = 532 \text{ mm}$$

Tegangan tarik pada *sloof* (f_r) harus lebih kecil dari tegangan tarik ijin beton (f_{ijin}).

$$f_{ijin} = 0.7 \sqrt{f'_c} = 0.7 \sqrt{30} = 3.834 \text{ MPa}$$

$$f_r = \frac{\text{gaya aksial sloof}}{0.8 \times b \times h} = \frac{41332.847 \times 9.81}{0.8 \times 400 \times 600}$$

$$= 2.11 \text{ MPa} < f_{ijin} \text{ ...OK}$$

Beban yang dipikul balok *sloof*

$$\text{Berat sendiri} = 0.4 \times 0.6 \times 2400 = 576 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat dinding} = 132 \times 4.3 = 567.6 \text{ kg/m} +$$

$$\text{Total } q_d = 1143.6 \text{ kg/m}$$

$$q_u = 1.4 q_d$$

$$= 1.4 \times 1143.6 = 1601.04 \text{ kg/m}$$

Besar momen balok sloof menggunakan persamaan pada perhitungan balok menerus berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 8.3.3

- Penulangan lentur sisi tumpuan

$$M_u = \frac{1}{12} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 1601.04 \times 6.1^2 = 4964.56 \text{ kgm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{4964.56}{0.9} = 5516.176 \text{ kgm}$$

$$= 54113684 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 30} = 16.47$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{fy} = \frac{1.4}{420} = 0.003$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{54113684}{400 \times 532^2} = 0.478$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{16.47} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16.47 \times 0.478}{420}} \right)$$

$$= 0.0011 < \rho_{\min} = 0.0033$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.0033$$

Tulangan butuh

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d'$$

$$= 0.0033 \times 400 \times 532 = 709.33 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{As} = \frac{709.33}{201.06} = 3.528 \approx 4 \text{ buah}$$

Pakai tulangan lentur tumpuan 4D16

- Penulangan lentur sisi lapangan

$$Mu = \frac{1}{24} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{24} \times 1601.04 \times 6.1^2 = 2481.28 \text{ kgm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{2481.28}{0.9} = 2758.09 \text{ kgm}$$

$$= 27056842 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 30} = 16.47$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{fy} = \frac{1.4}{420} = 0.0033$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{27056842}{400 \times 532^2} = 0.239$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{16.47} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16.47 \times 0.239}{420}} \right) \\ &= 0.0006 < \rho_{\text{min}} = 0.0033\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.0033$$

Tulangan butuh

$$\begin{aligned}A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0033 \times 400 \times 532 = 709.33 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s} = \frac{709.33}{201.06} = 3.528 \approx 4 \text{ buah}$$

Pakai tulangan lentur lapangan 4D16

- Penulangan geser

$$\begin{aligned}V_u &= 0.5 \times q_u \times L \\ &= 0.5 \times 1601.04 \times 6.1 = 4883.172 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton adalah sebagai berikut.

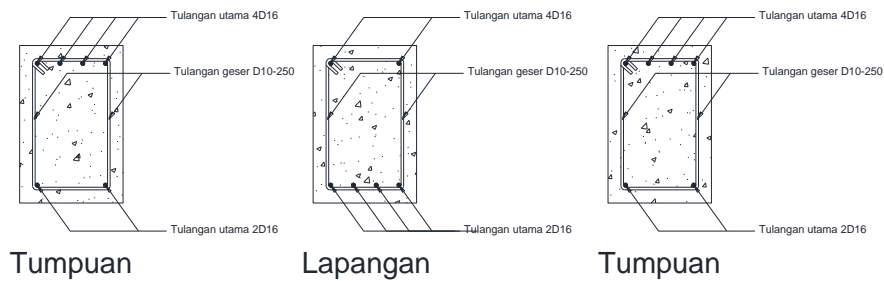
$$\begin{aligned}V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 400 \times 532 = 194258.934 \text{ N} \\ &= 19802.134 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0.75 V_c = 0.75 \times 19802.134 = 14851.6 \text{ N}$$

Karena $V_u = 4883.172 < \phi V_c$, sehingga tidak perlu tulangan geser

Jadi dipasang tulangan geser praktis Ø10 dengan jarak paling minimum dari 300 mm atau $d/2$ (266 mm).

Sehingga, pakai tulangan geser Ø10 - 250 mm.



Gambar 4. 57 Potongan Melintang Balok *Sloof*

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengerjaan tugas akhir “Modifikasi Perencanaan Struktur Baja Sistem Rangka Pengaku Eksentris (Srpe) Dengan Perbandingan Berat Material Baja Terhadap Sistem *Staggered Truss Frames* (Stf) Pada Apartemen Purimas Surabaya” dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembebanan yang bekerja pada struktur adalah sebagai berikut:

Beban mati atap	= 188 kg/m ²
Beban mati lantai	= 219 kg/m ²
Beban hidup atap	= 97.893 kg/m ²
Beban hidup lantai	= 195.785 kg/m ²

2. Hasil perhitungan struktur sekunder
 - a. Pelat atap menggunakan *Hollow Core Slab* (HCS) tebal 150 mm dengan PC wire D5 sebanyak 14 buah
 - b. Pelat lantai menggunakan *Hollow Core Slab* (HCS) tebal 150 mm dengan PC wire D5 sebanyak 16 buah
 - c. Pelat anak tangga menggunakan bondek dari SUPER FLOOR DECK tebal 0,75 mm dengan pelat beton tebal 90 mm tanpa tulangan negatif
 - d. Pelat bordes menggunakan bondek dari SUPER FLOOR DECK tebal 0,75 mm dengan pelat beton tebal 90 mm dan dipasang tulangan negatif Ø10–300.
 - e. Balok utama tangga menggunakan profil WF 250×150×6×9 dengan mutu baja BJ41
 - f. Balok penumpu tangga menggunakan profil WF 250×150×6×9 dengan mutu baja BJ41
 - g. Balok penggantung lift menggunakan profil WF 300×150×6.5×9 dengan mutu baja BJ41.

3. Permodelan dan analisa struktur, meliputi kontrol partisipasi massa, periode fundamental struktur, nilai akhir respon spectrum, dan *drift* (simpangan) yang direncanakan di Kota Surabaya telah memenuhi syarat SNI 1726:2012.
4. Hasil perhitungan struktur primer
 - a. *Link* arah X dan Y merupakan *link* pendek dengan panjang *link* 100 cm.
 - b. *Link* arah X dan Y menggunakan profil WF 400×200×8×13 dengan mutu baja BJ41
 - c. Balok di luar *link* arah X dan Y menggunakan profil WF 400×200×8×13 dengan mutu baja BJ41
 - d. Bresing arah X dan Y menggunakan profil WF 200×200×9×14 dengan mutu baja BJ41
 - e. Balok induk arah X dan Y menggunakan profil WF 300×200×7×10 dengan mutu baja BJ41
 - f. Kolom menggunakan *Concrete Filled Tube* (CFT) dengan profil HSS 400×400×14 dengan mutu baja BJ41 dan isian beton dengan mutu f'_c 45 MPa
5. Hasil perhitungan sambungan
 - a. Sambungan balok utama tangga – balok penumpu tangga menggunakan baut BJ50 D8 dengan plat $\angle 60 \times 60 \times 6$
 - b. Sambungan balok penumpu tangga – kolom menggunakan baut BJ50 D10 dan las F_{E70xx} dengan plat $\angle 60 \times 60 \times 6$
 - c. Sambungan balok induk – kolom menggunakan baut A490 D12, A490 D22 dan las F_{E110xx} dengan pelat $t=6$ mm dan *diaphragm plate* $t=20$ mm

- d. Sambungan Bresing menggunakan baut A490 D12 dan las F_{E110xx} dengan pelat $t=6$ mm dan $\angle 60 \times 60 \times 6$
 - e. Sambungan balok di luar *link* – kolom menggunakan baut A490 D12, A490 D22 dan las F_{E110xx} dengan pelat $t=6$ mm dan *diaphragm plate* $t=25$ mm
 - f. Sambungan kolom – kolom menggunakan las F_{E110xx} dengan pelat $t=30$ mm
 - g. Sambungan kolom – *Baseplate* menggunakan baut angkur 8M20 dan las sudut F_{E110xx} dengan dimensi *baseplate* $650 \times 650 \times 40$.
6. Berat total material struktur utama pada perencanaan modifikasi apartemen Purimas Surabaya menggunakan sistem rangka pengaku eksentris didapatkan 1105.136 ton, sedangkan pada modifikasi menggunakan sistem *staggered truss frames* didapatkan 762.937 ton. Hal tersebut menunjukkan bahwa berat material struktur utama pada modifikasi menggunakan sistem *staggered truss frames* lebih ringan sebesar 342.2 ton.
7. Hasil perhitungan struktur bawah
- a. Struktur pondasi menggunakan pondasi *spun pile* $\varnothing 60$ cm dengan kedalaman 4 m yang dimulai dari elevasi -3,5m
 - b. Dimensi poer Tipe 1 direncanakan $2.4 \text{ m} \times 3.6 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, dengan tulangan lentur arah X D25–300 mm dan tulangan lentur arah Y D25–240 mm. Dimensi poer Tipe 2 direncanakan $3.6 \text{ m} \times 3.6 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, dengan tulangan lentur arah X D25-280 dan tulangan Lentur arah Y D25-210. Dimensi poer Tipe 3 direncanakan $4.8 \text{ m} \times 4.8 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, dengan tulangan lentur arah X D25-250 dan tulangan Lentur arah Y D25-230

- c. Dimensi kolom pedestal direncanakan $700 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$, dengan tulangan utama 25D20 dan tulangan geser $\emptyset 10 - 120$.
 - d. Dimensi sloof direncanakan $400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$, dengan tulangan lentur 4D16 dan tulangan geser $\emptyset 10 - 250$.
8. Perencanaan gambar teknik dapat dilihat pada lampiran.

5.2 Saran

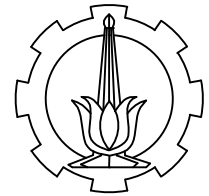
Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Diharapkan dilakukan studi yang mempelajari tentang perencanaan struktur Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE) lebih dalam dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomis, dan estetika.
2. Perlu adanya perhitungan berat material secara lengkap termasuk berat sambungan dan bangunan bawah untuk mengetahui berat material minimum satu buah sistem struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Aydan, O., 2008. *Seismic and Tsunami Hazard Potential in Indonesia with a special emphasis on Sumatra Island*, *Journal of The School of Marine Science and Technology, Tokai University*, Vol. 6 No. 3: 19-38.
- Badan Standardisasi Nasional . 2012 . *SNI 1726-2012 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung* . Jakarta . Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional . 2013 . *SNI 1727-2013 : Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain* . Jakarta . Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional . 2013 . *SNI 2847-2013 : Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung* . Jakarta . Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional . 2015 . *SNI 1729-2015 : Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural* . Jakarta . Badan Standardisasi Nasional.
- Bruneau M, Uang, Chia Ming, & Sabelli R. 1998. *Second Edition Ductile Design of Steel Structures*. USA : McGraw-Hill.
- Chao H.S. & Goel C.S. 2006. *Performance Based Seismic Design Of EBF Using Target Drift and Yield Mechanism as Performance Criteria*.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan . 1983 , *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*. Bandung , Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Engelhardt, M.D., Popov, E.P. 1992. *Experimental Performance of Long Link in Eccentrically Braced Frames*, *Journal of Structural Engineering*, vol 118, No. 11. 3067-3088. ASCE.
- Federal Emergency Management Agency. 1997. *Fema 273: Nchp Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*.
- Malangkueswara, P., Wahyuni, E. 2013. *Studi Perilaku Staggered Truss Framing Systems pada Gedung Apartemen Purimas Surabaya*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Schodek, Daniel L. 1999. *Struktur Edisi kedua*. Jakarta: Erlangga.

- Seismology Committee, S. E. (t.thn.). *Seismic Design Of Steel Staggered Truss Framing Systems*, 2.
- Simasathien et al.2004.*Modified Structural Layouts For Staggered Truss Framing Systems Used In Seismically Active Areas*.
- Zhou, X., He, Y., Xu, L., & Zhou, Q. 2008. *Thin-Walled Structures. Experimental Study and Numerical Analyses on Seismic Behaviors of Staggered-Truss System under Low Cyclic Loading*.
- Wahyudi, Herman. 1999. *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya : Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS.



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

DENAH LANTAI

SKALA GAMBAR

1 : 250

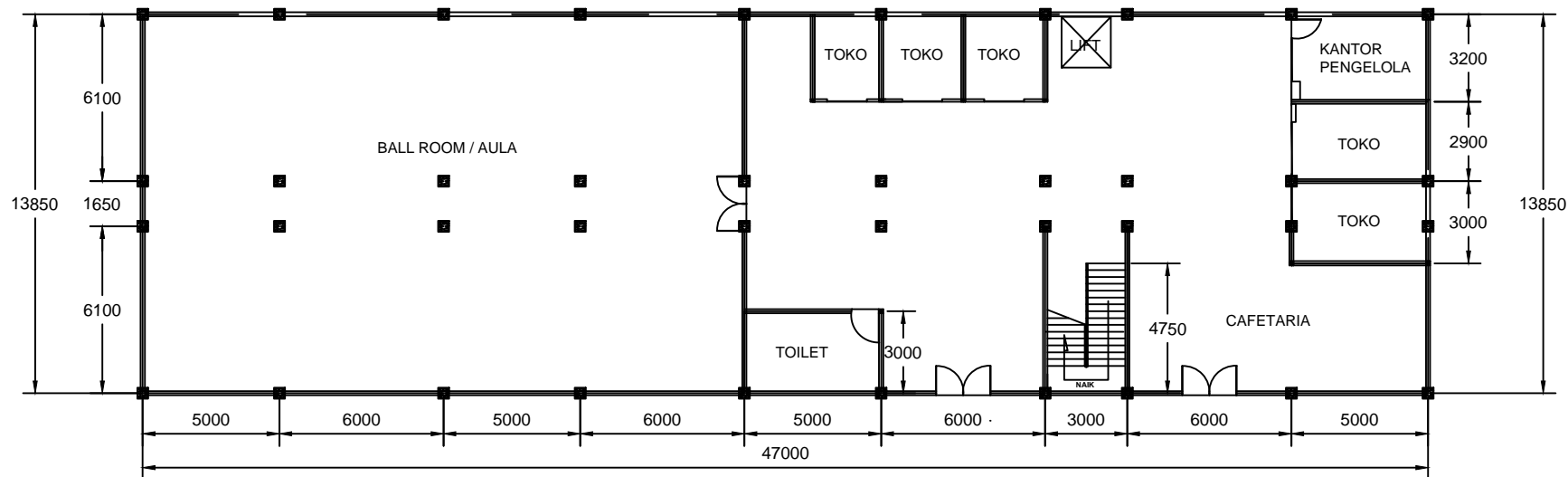
CATATAN

NO. LEMBAR

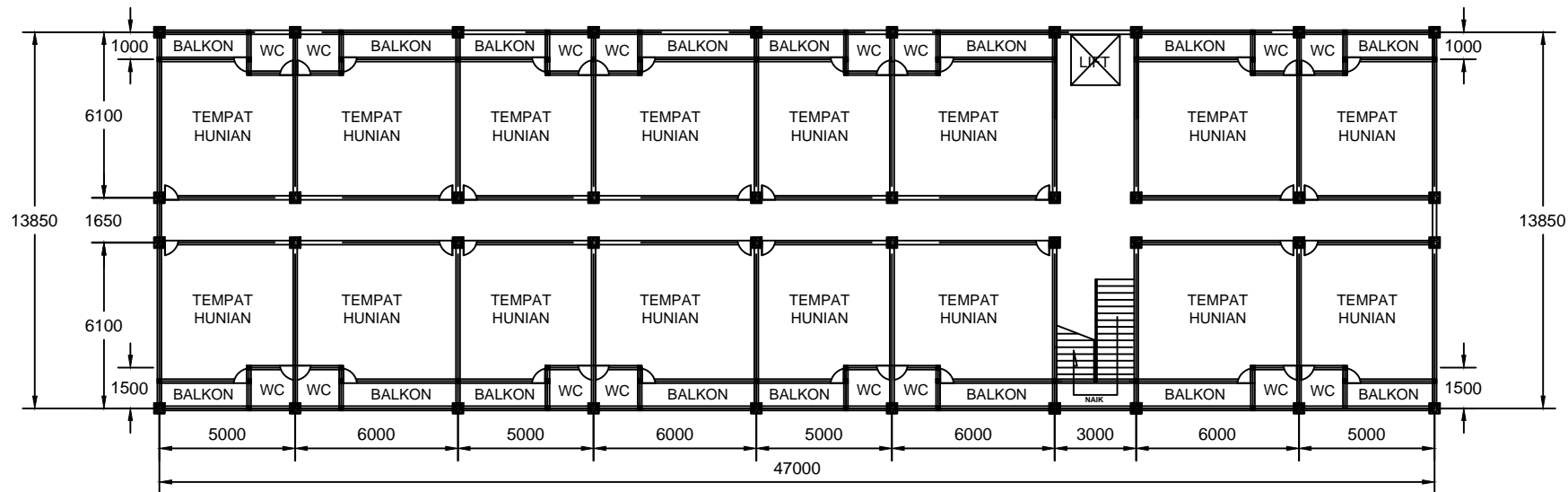
1

JUMLAH LEMBAR

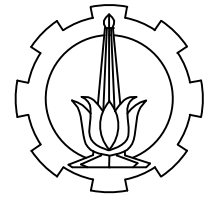
35



Denah Lantai Dasar
SKALA 1:250



Denah Lantai 2-13
SKALA 1:250



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

DENAH PEMBALOKAN ATAP
DAN LANTAI SRPE

SKALA GAMBAR

1 : 250

CATATAN

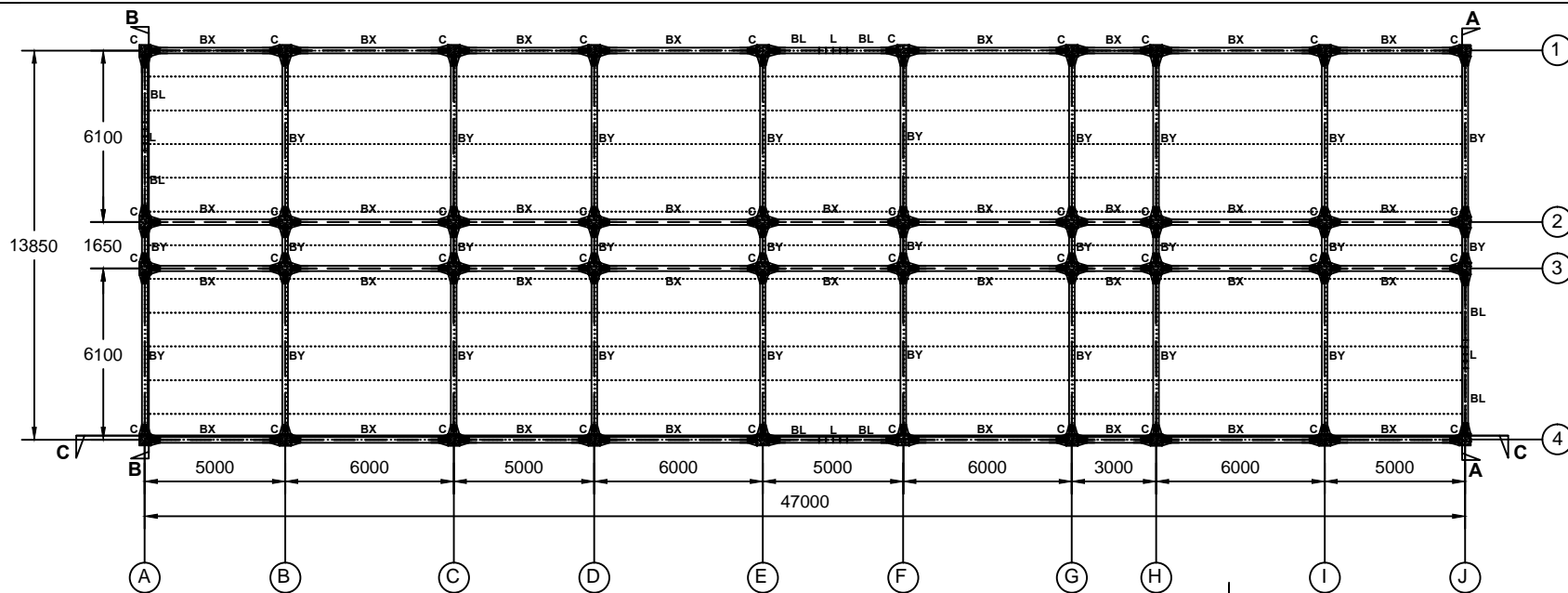
BX = WF 300x200x7x10
BY = WF 300x200x7x10
C = CFT 400x400x14
L = WF 400x200x8x13
BL = WF 400x200x8x13

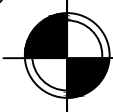
NO. LEMBAR

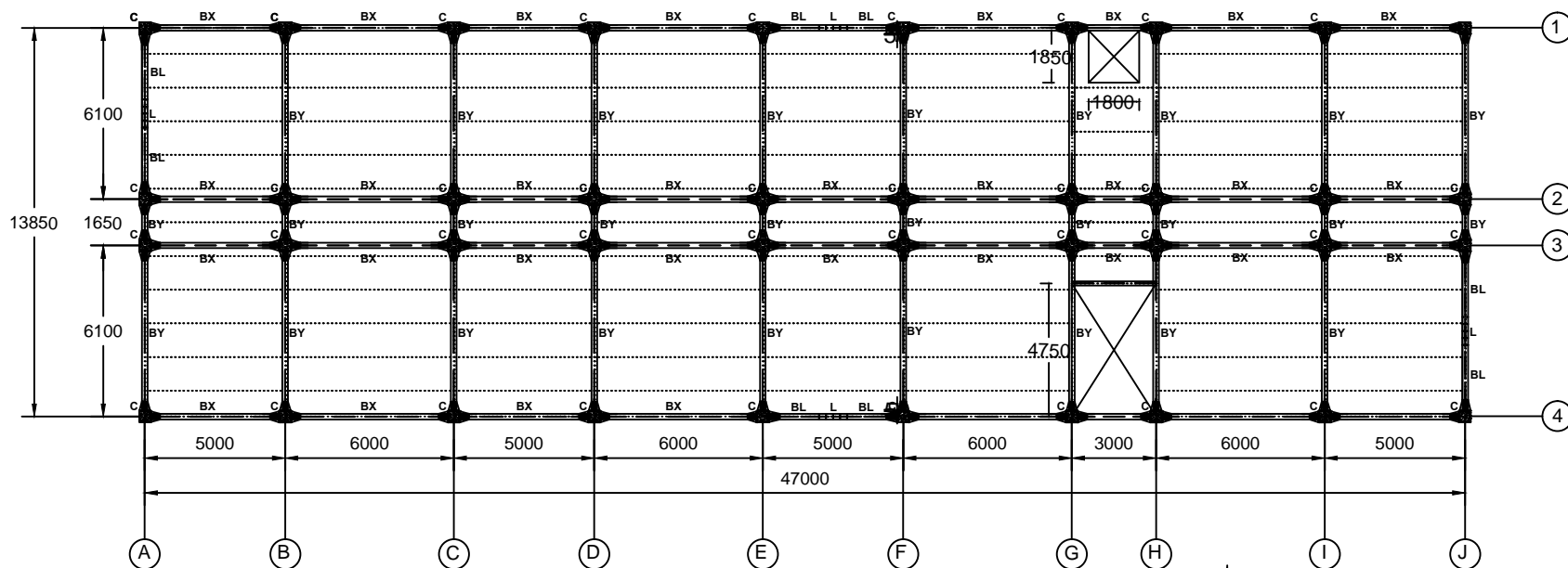
2

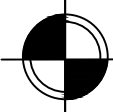
JUMLAH LEMBAR

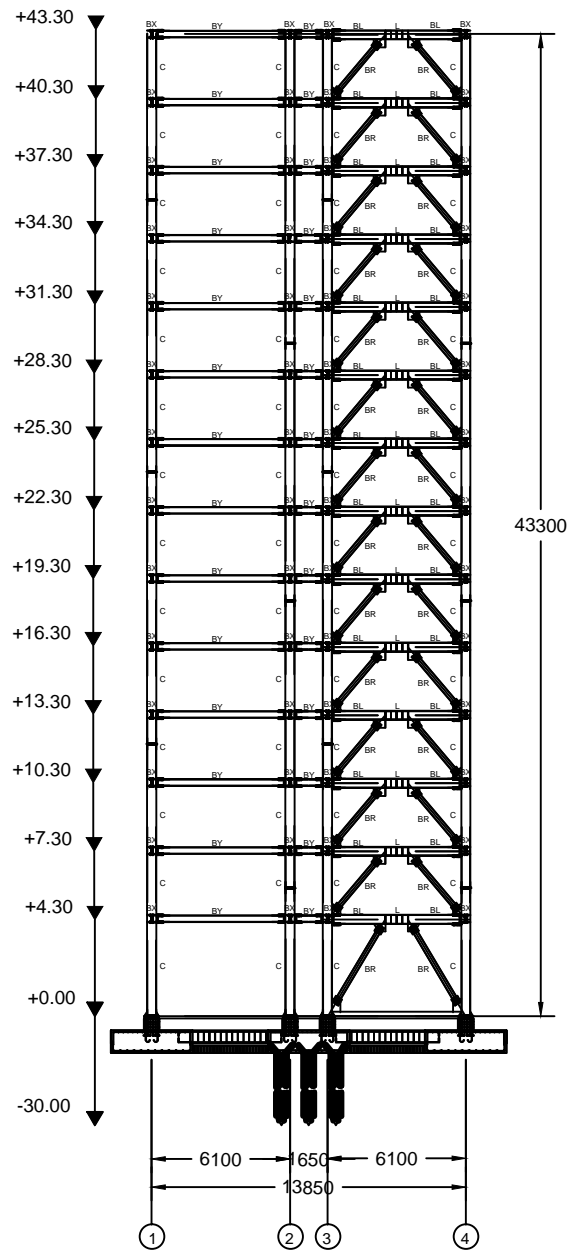
35



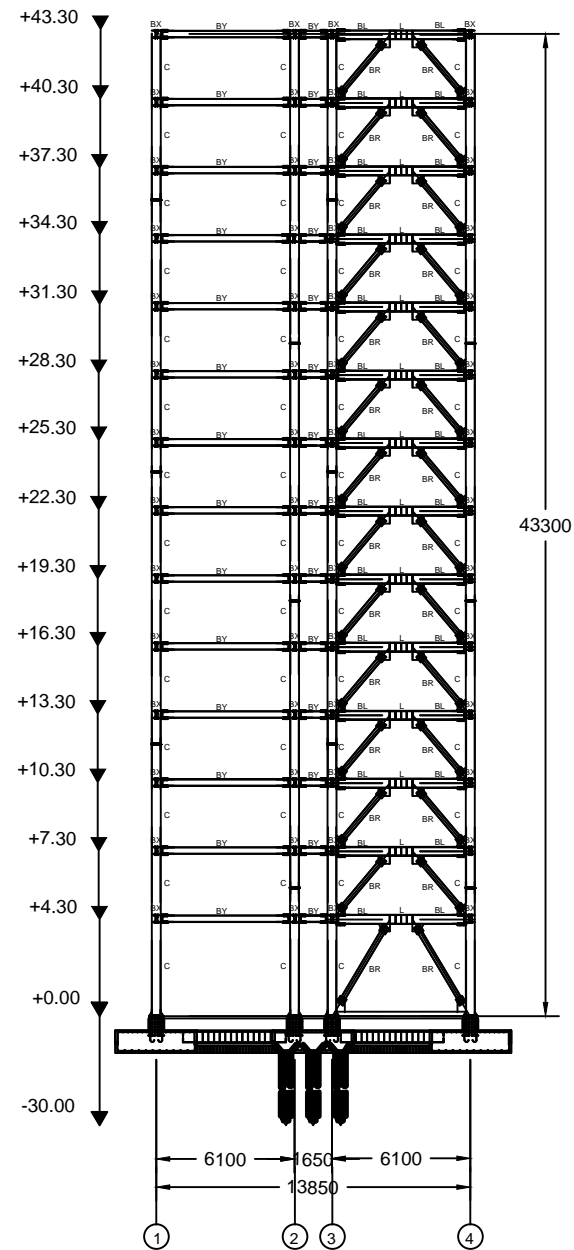
 Denah Balok Atap
SKALA 1:250



 Denah Balok Lantai
SKALA 1:250



 Potongan A-A
SKALA 1:300



 Potongan B-B
SKALA 1:300



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN MELINTANG SRPE

SKALA GAMBAR

1 : 300

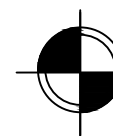
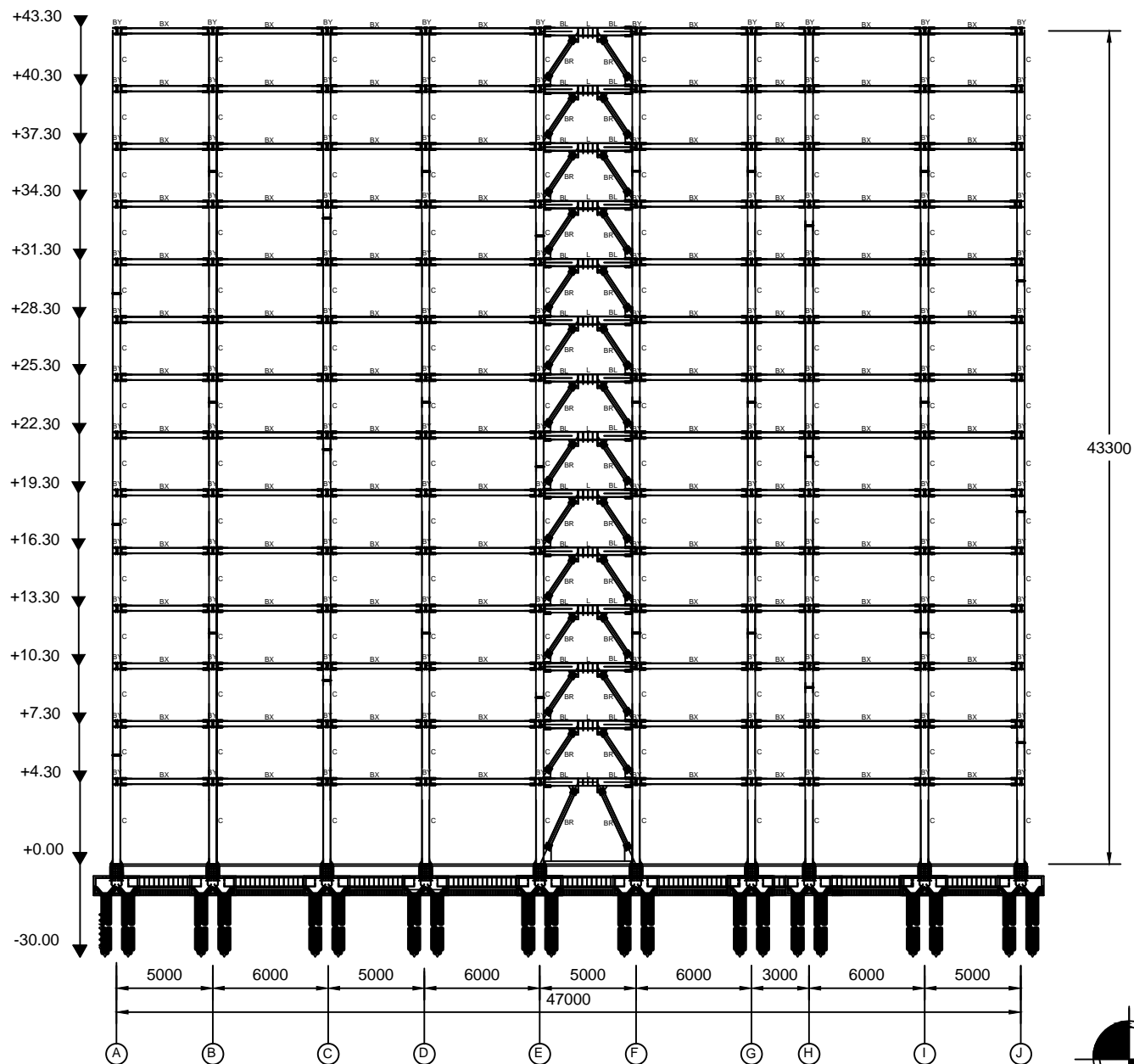
CATATAN

NO. LEMBAR

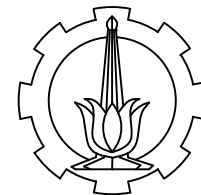
3

JUMLAH LEMBAR

35



Potongan C-C
SKALA 1:300



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN MEMANJANG SRPE

SKALA GAMBAR

1 : 300

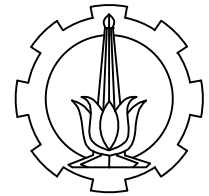
CATATAN

NO. LEMBAR

4

JUMLAH LEMBAR

35



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

DETAIL PELAT LANTAI
DAN
POTONGAN PELAT LANTAI

SKALA GAMBAR

1 : 10

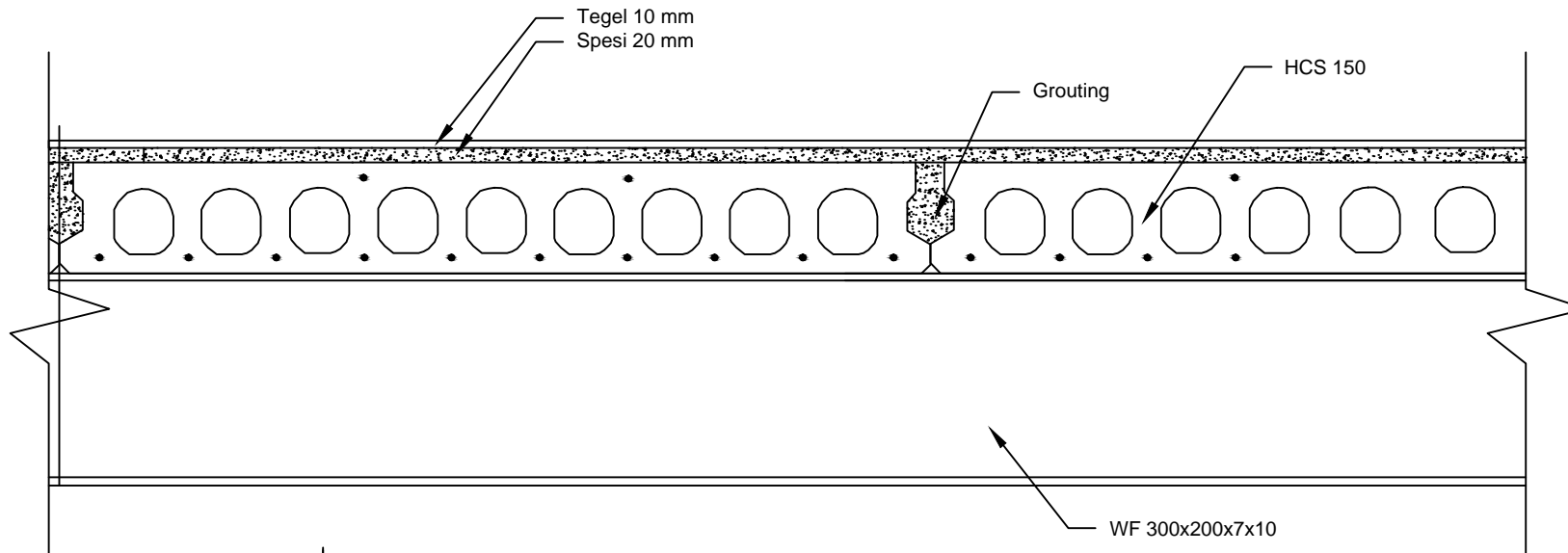
CATATAN

NO. LEMBAR

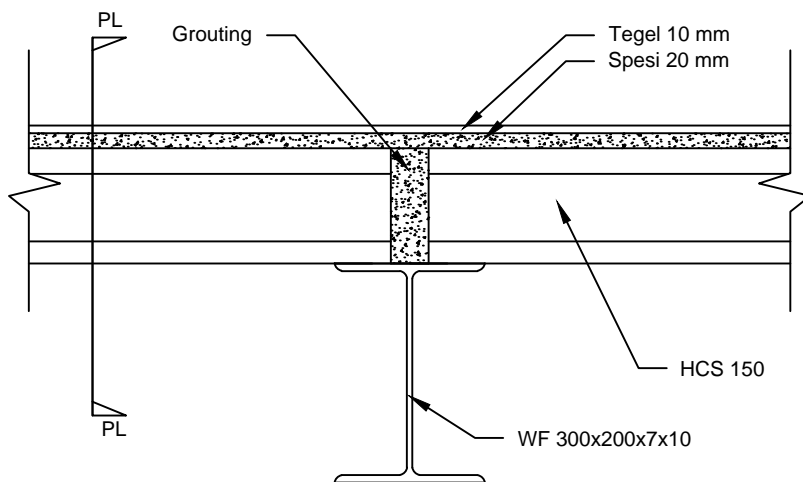
5

JUMLAH LEMBAR

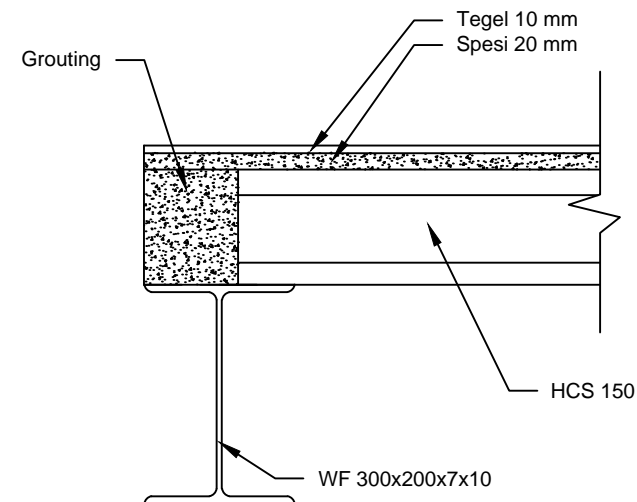
35



Potongan PL-PL
SKALA 1:10



Detail Pelat Tengah
SKALA 1:10



Detail Pelat Tepi
SKALA 1:10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

TAMPAK ATAS TANGGA
DAN
POTONGAN TANGGA

SKALA GAMBAR

1 : 50

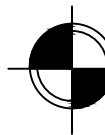
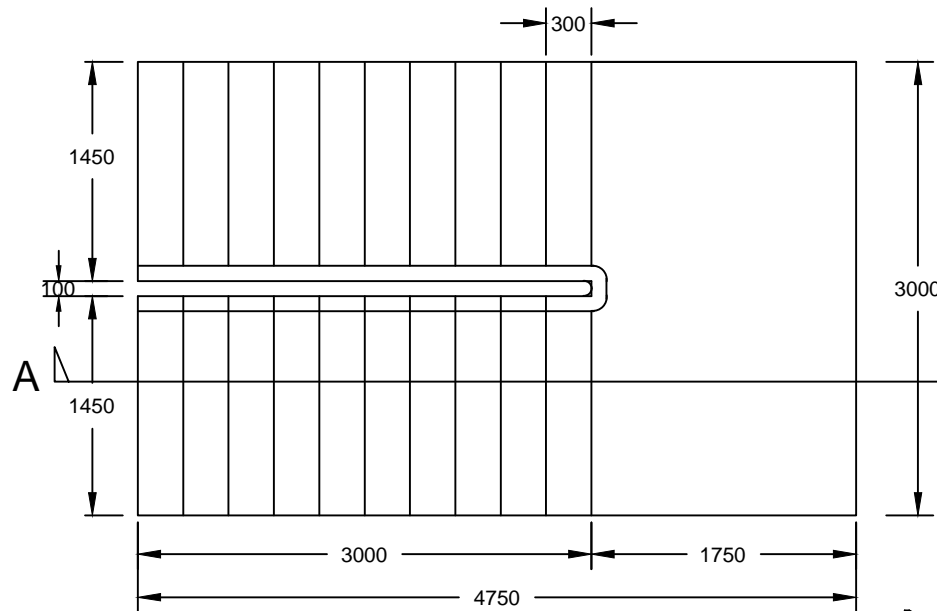
CATATAN

NO. LEMBAR

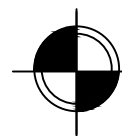
6

JUMLAH LEMBAR

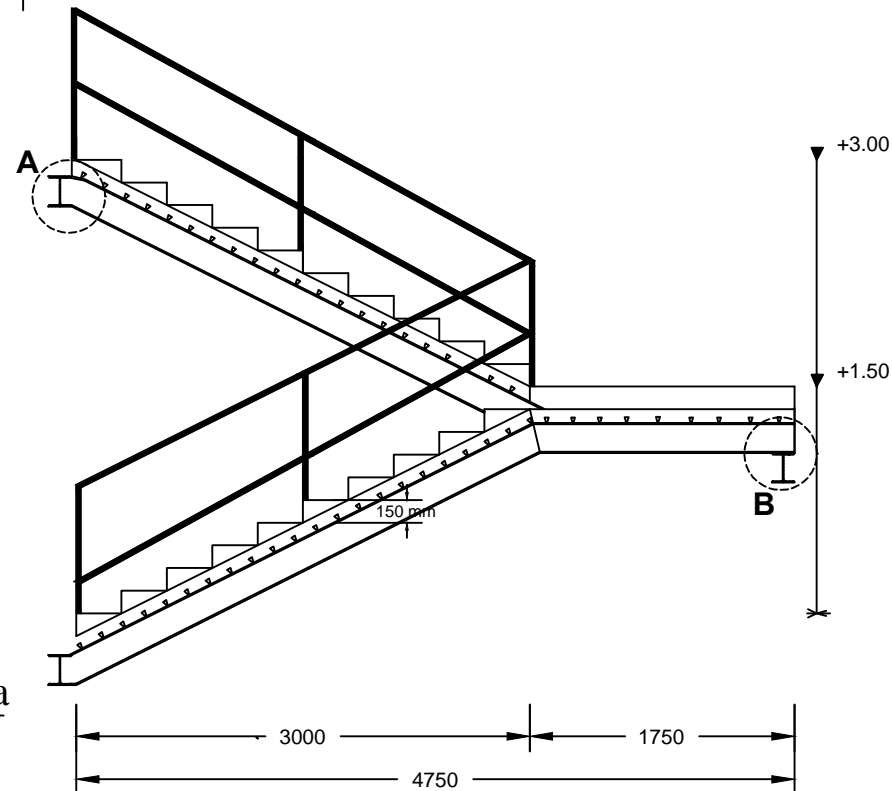
35

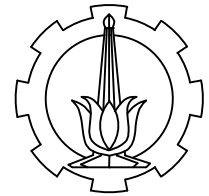


Tampak Atas Tangga
SKALA 1:50



Potongan A-A Tangga
SKALA 1:50





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN TANGGA
DAN
POTONGAN SAMBUNGAN TANGGA

SKALA GAMBAR

1 : 5

CATATAN

NO. LEMBAR

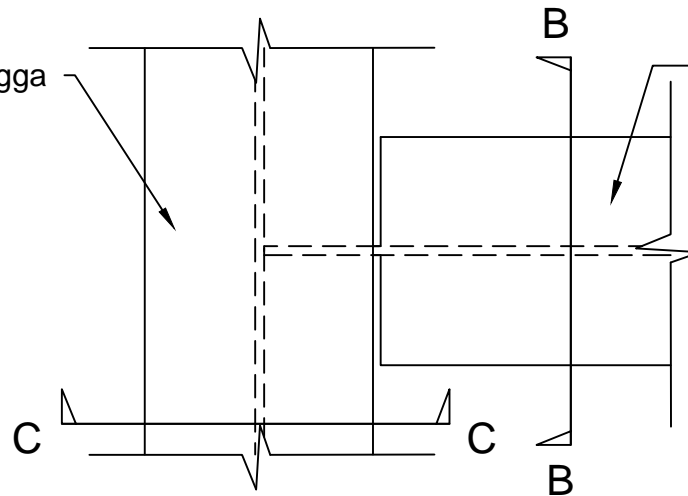
7

JUMLAH LEMBAR

35

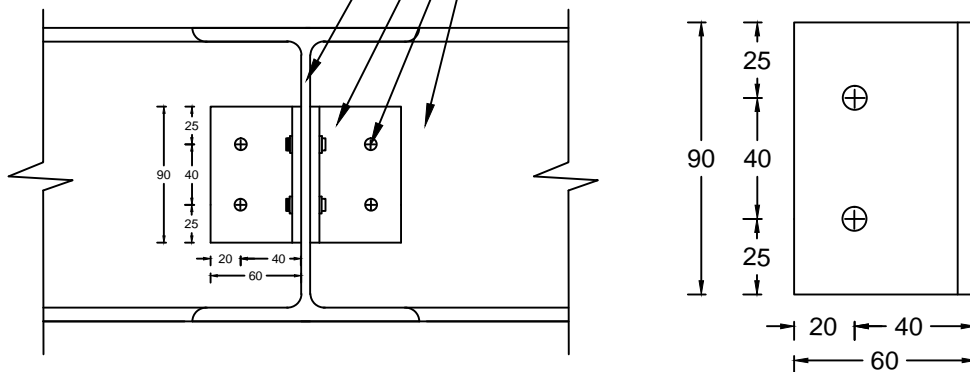
Balok Penumpu Tangga
WF 200x150x6x9

Balok Utama Tangga
WF 200x150x6x9



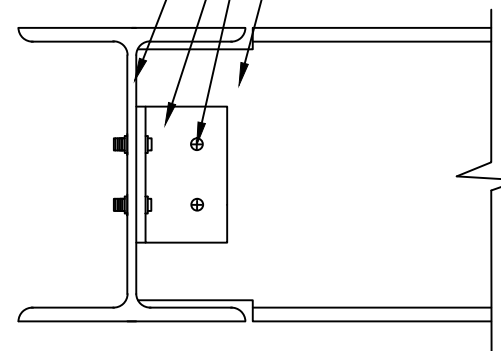
Detail A Potongan Tangga
SKALA 1:5

Balok Utama Tangga
WF 200x150x6x9
L 60x60x6
Baut BJ50 M8
Balok Penumpu Tangga
WF 200x150x6x9

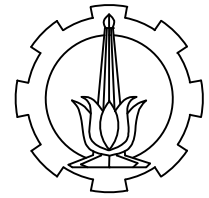


Potongan B-B
SKALA 1:5

Balok Penumpu Tangga
WF 200x150x6x9
L 60x60x6
Baut BJ50 M8
Balok Utama Tangga
WF 200x150x6x9



Potongan C-C
SKALA 1:5



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN TANGGA
DAN
POTONGAN SAMBUNGAN TANGGA

SKALA GAMBAR

1 : 5

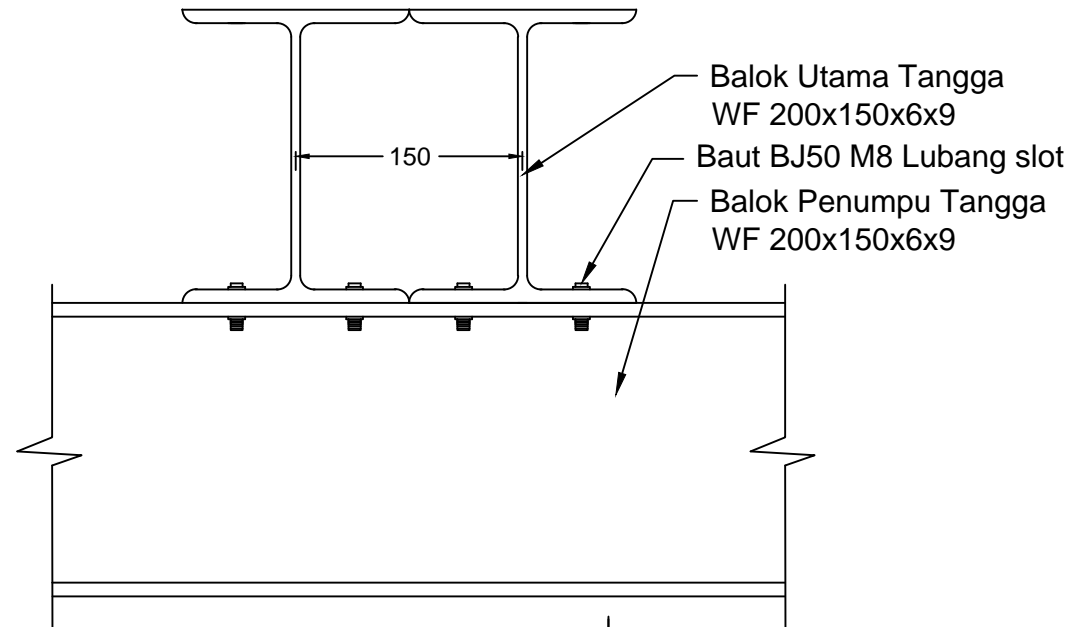
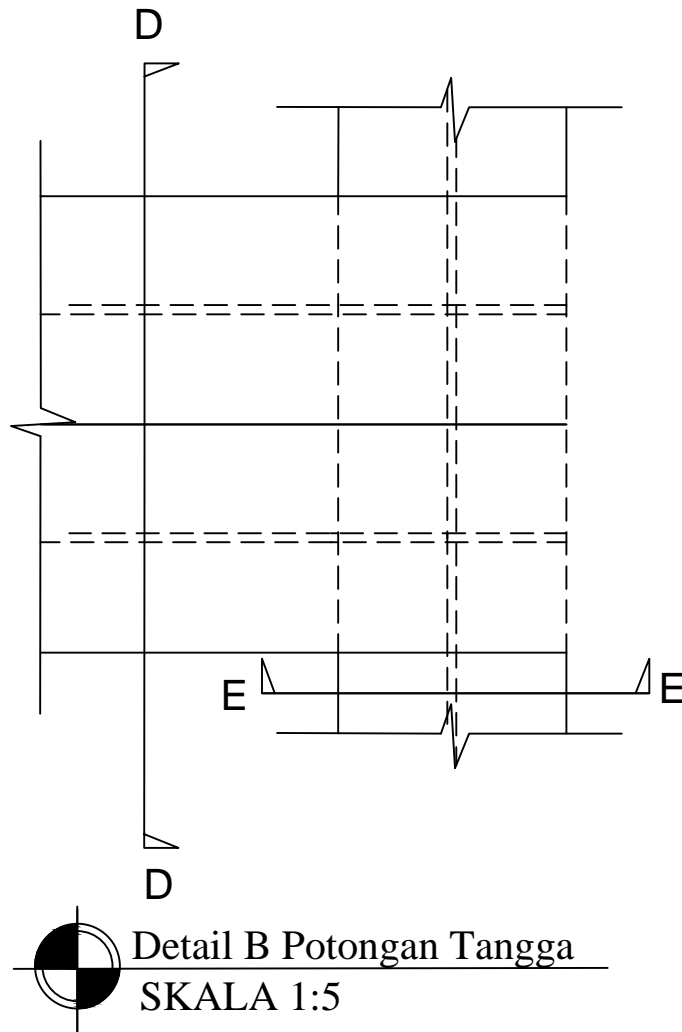
CATATAN

NO. LEMBAR

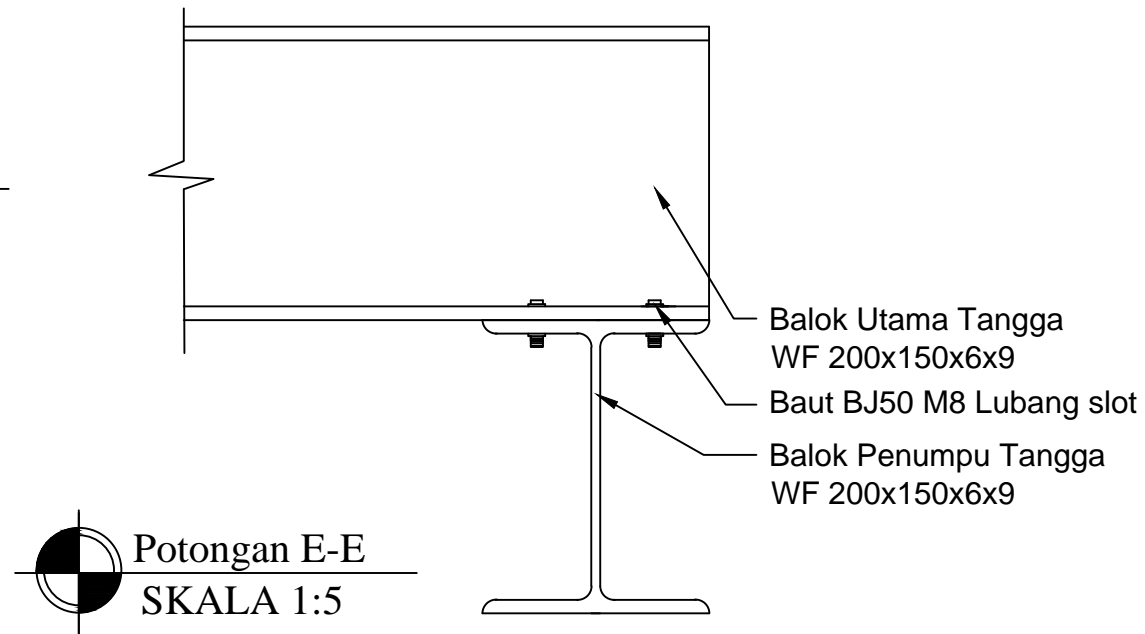
8

JUMLAH LEMBAR

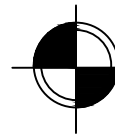
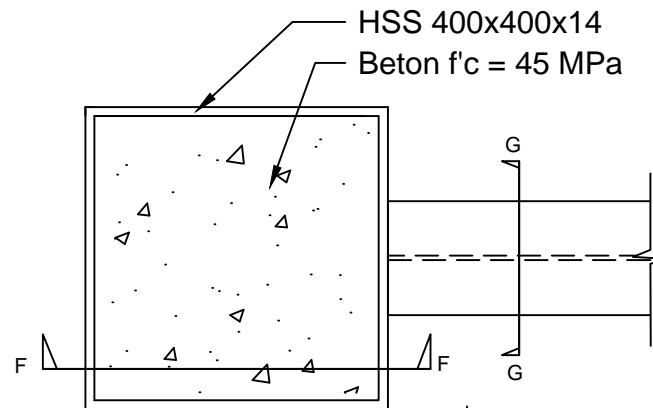
35



Potongan D-D
SKALA 1:5

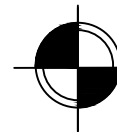
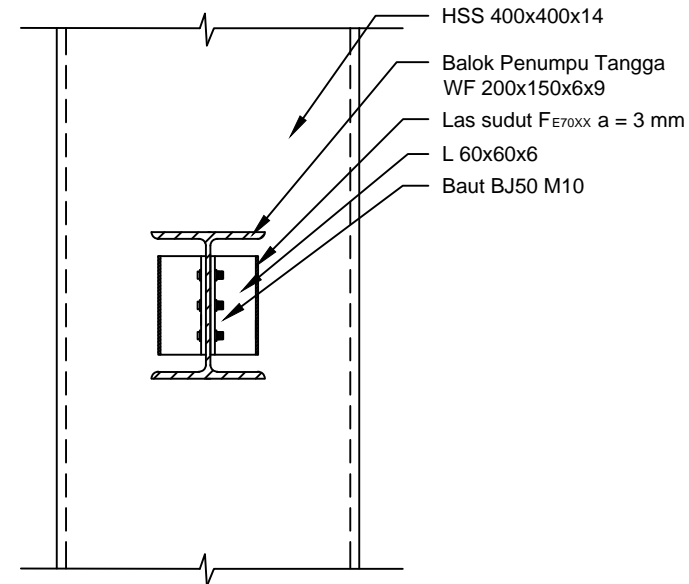
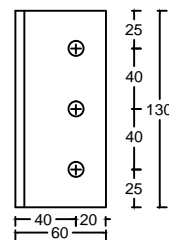
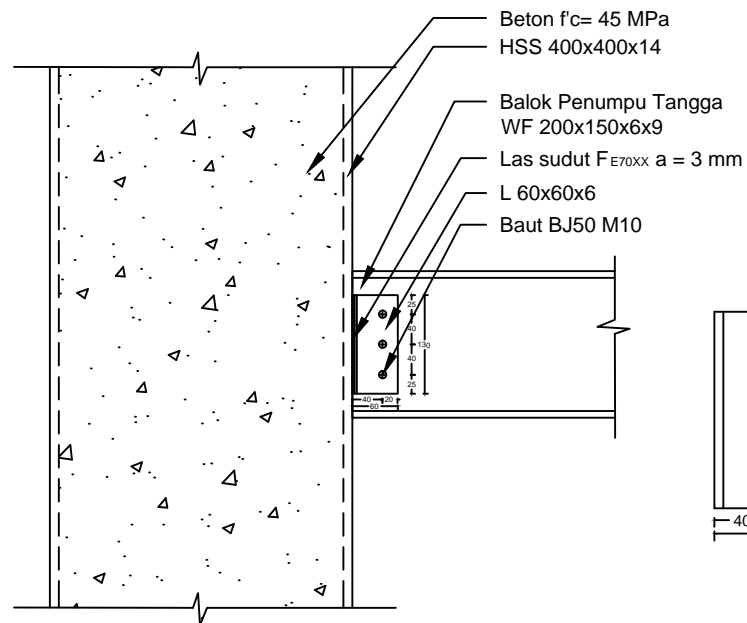


Potongan E-E
SKALA 1:5



Sambungan Penumpu Tangga - Kolom

SKALA 1:10



Potongan G-G

SKALA 1:10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

SAMBUNGAN BALOK PENUMPU
TANGGA DENGAN KOLOM

SKALA GAMBAR

1 : 10

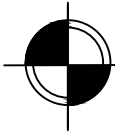
CATATAN

NO. LEMBAR

9

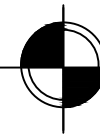
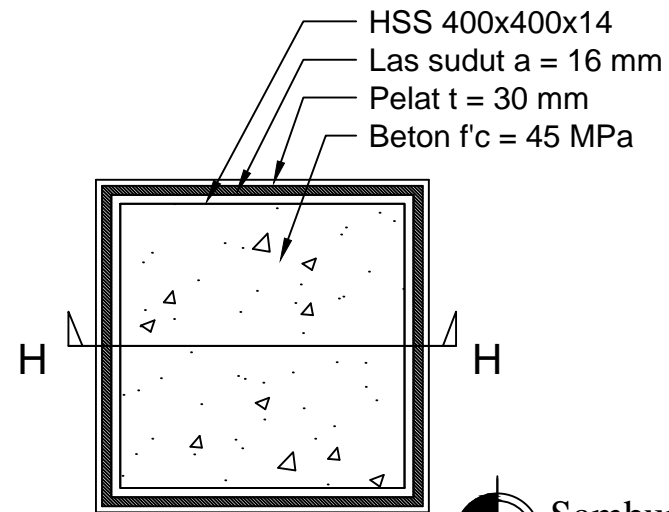
JUMLAH LEMBAR

35

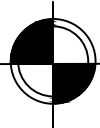
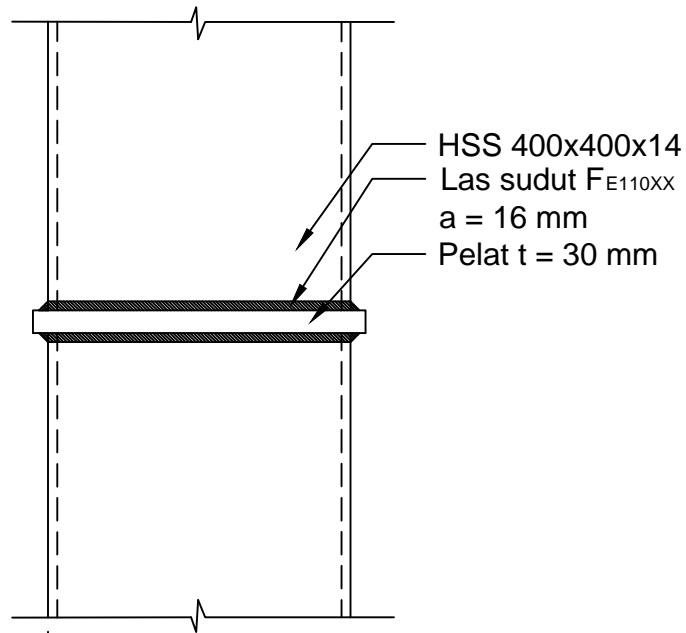


Potongan F-F

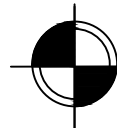
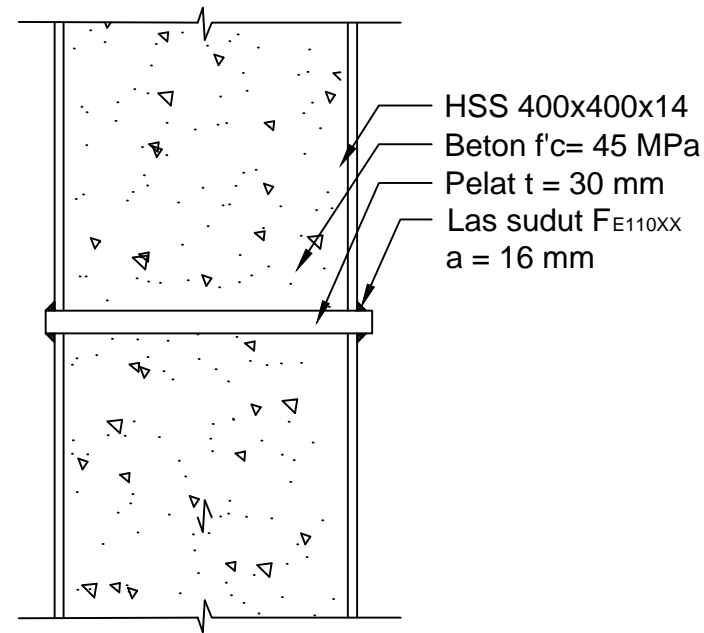
SKALA 1:10



Sambungan Antar Kolom
SKALA 1:10



Tampak Samping Sambungan
SKALA 1:10



Potongan H-H
SKALA 1:10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

SAMBUNGAN ANTAR KOLOM

SKALA GAMBAR

1 : 10

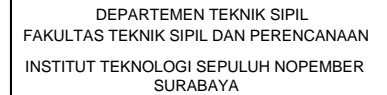
CATATAN

NO. LEMBAR

10

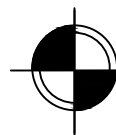
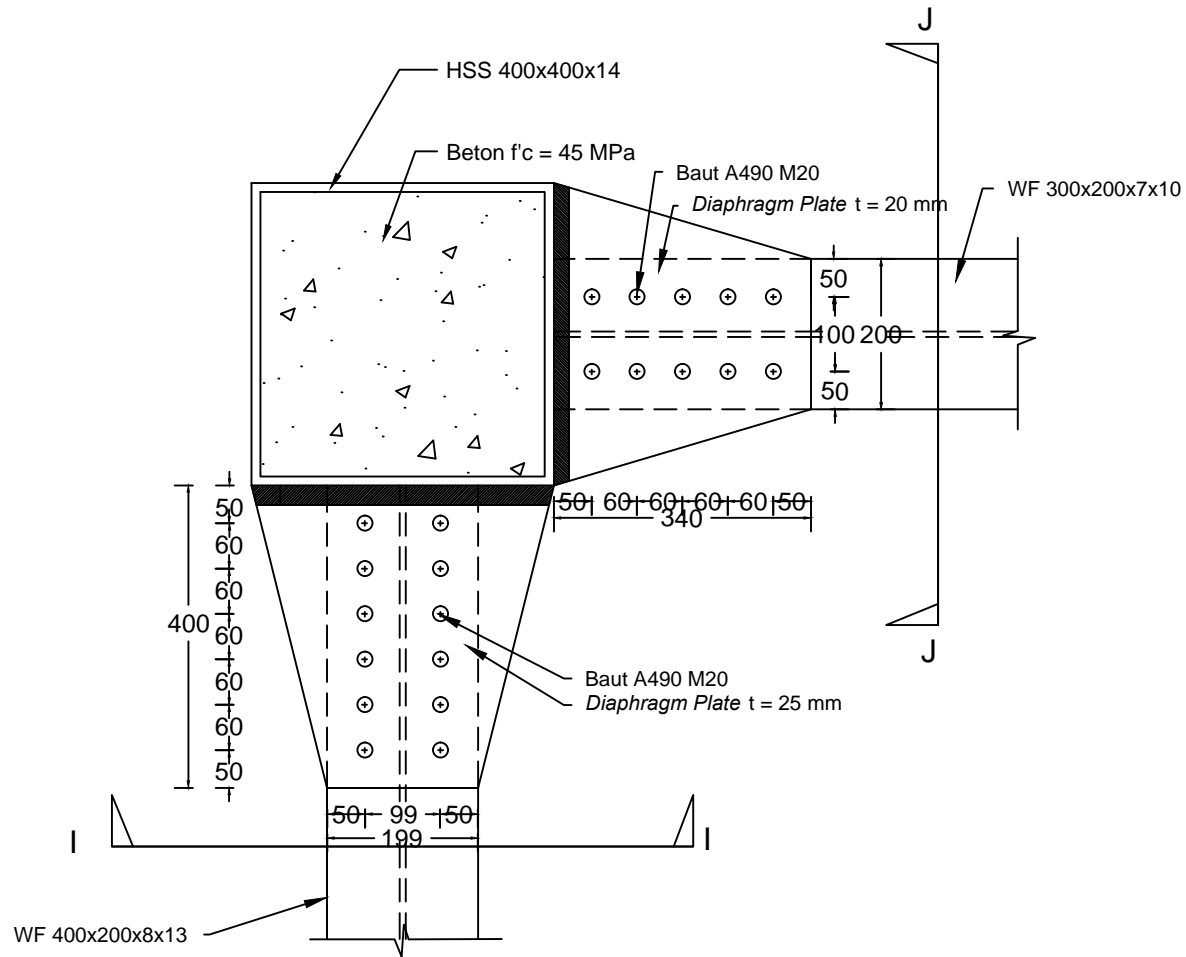
JUMLAH LEMBAR

35

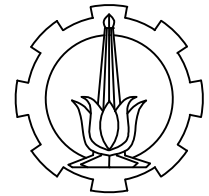


Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

35



Sambungan Balok Luar Link - Kolom
SKALA 1:10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN SAMBUNGAN
BALOK LUAR LINK DENGAN
KOLOM

SKALA GAMBAR

1 : 10

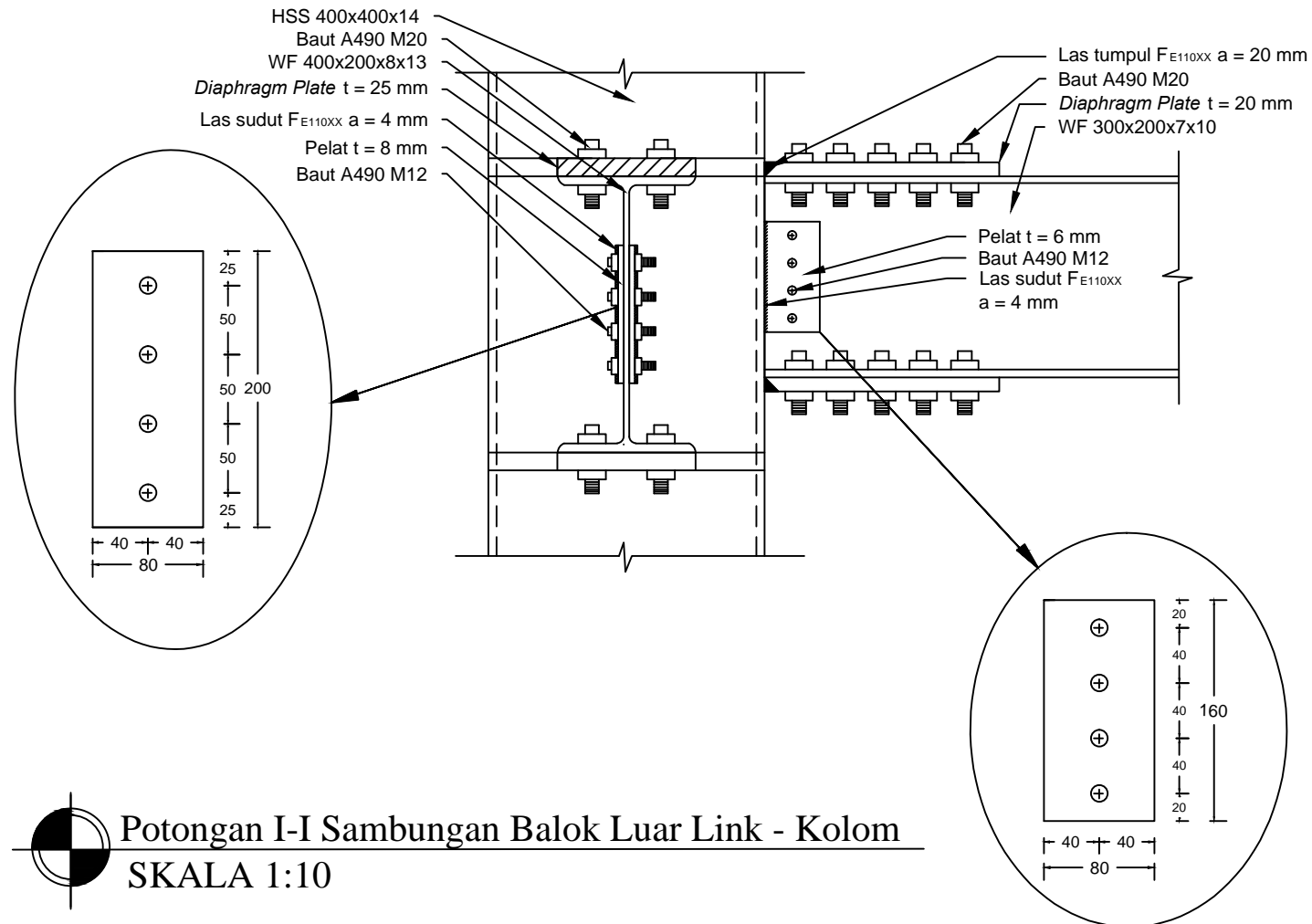
CATATAN

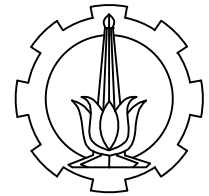
NO. LEMBAR

12

JUMLAH LEMBAR

35





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN SAMBUNGAN
BALOK LUAR LINK DENGAN
KOLOM

SKALA GAMBAR

1 : 10

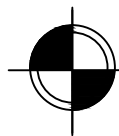
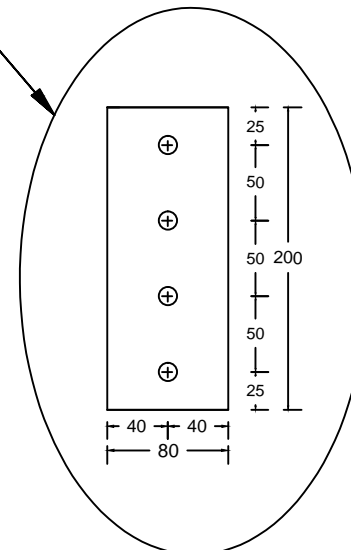
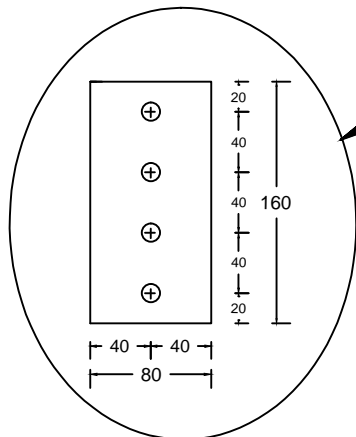
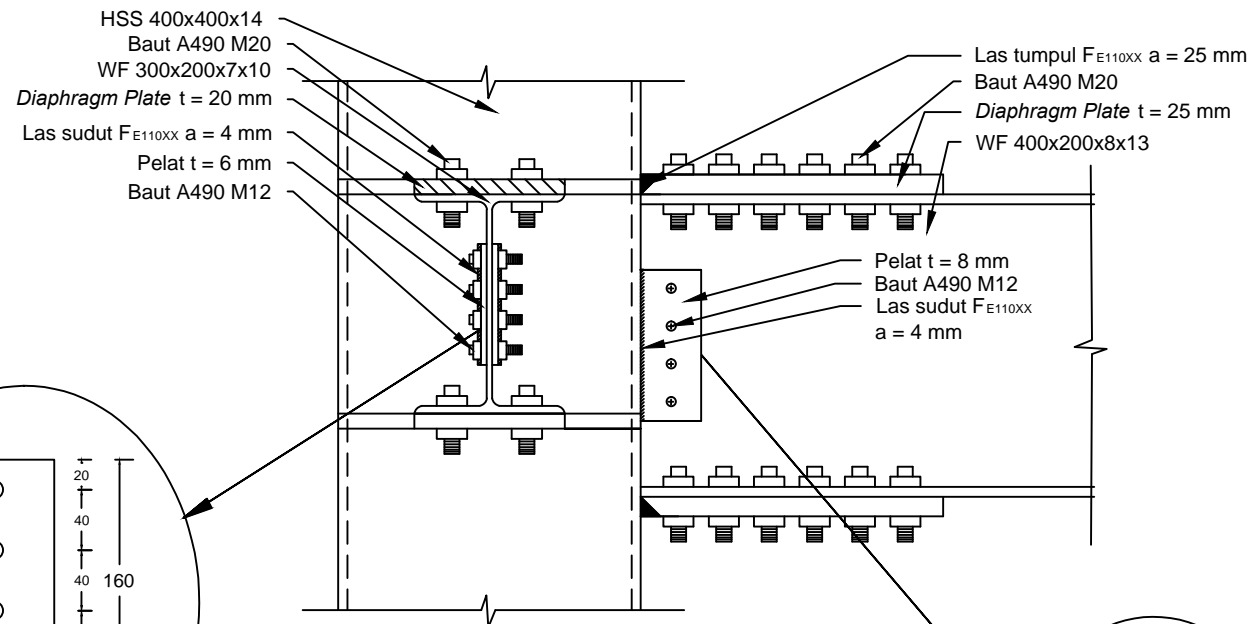
CATATAN

NO. LEMBAR

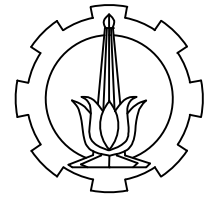
13

JUMLAH LEMBAR

35



Potongan J-J Sambungan Balok Luar Link - Kolom
SKALA 1:10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

SAMBUNGAN BALOK INDUK
DENGAN KOLOM

SKALA GAMBAR

1 : 10

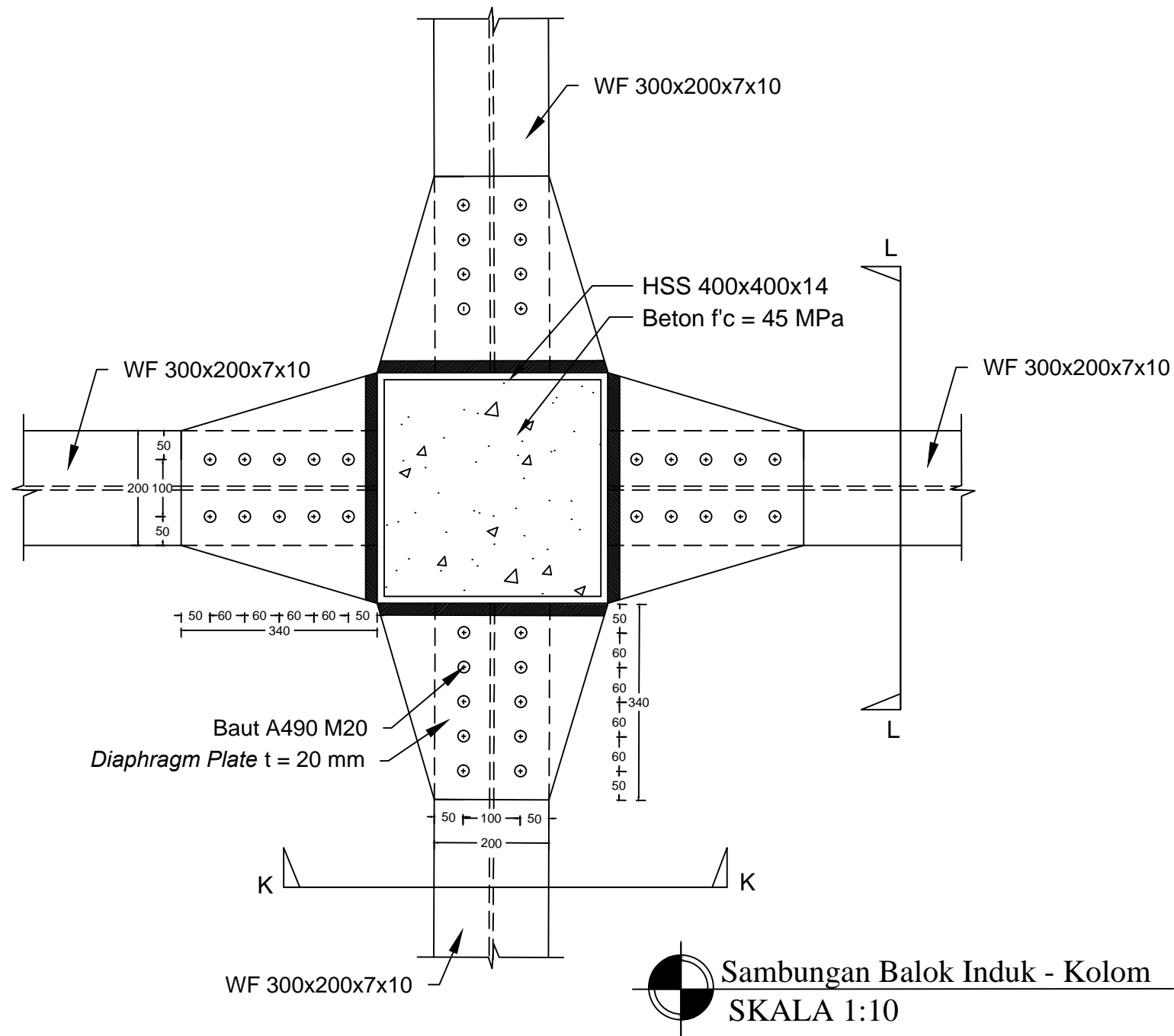
CATATAN

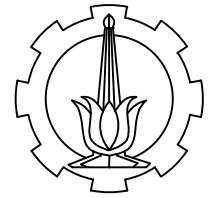
NO. LEMBAR

14

JUMLAH LEMBAR

35





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN SAMBUNGAN
BALOK INDUK DENGAN KOLOM

SKALA GAMBAR

1 : 10

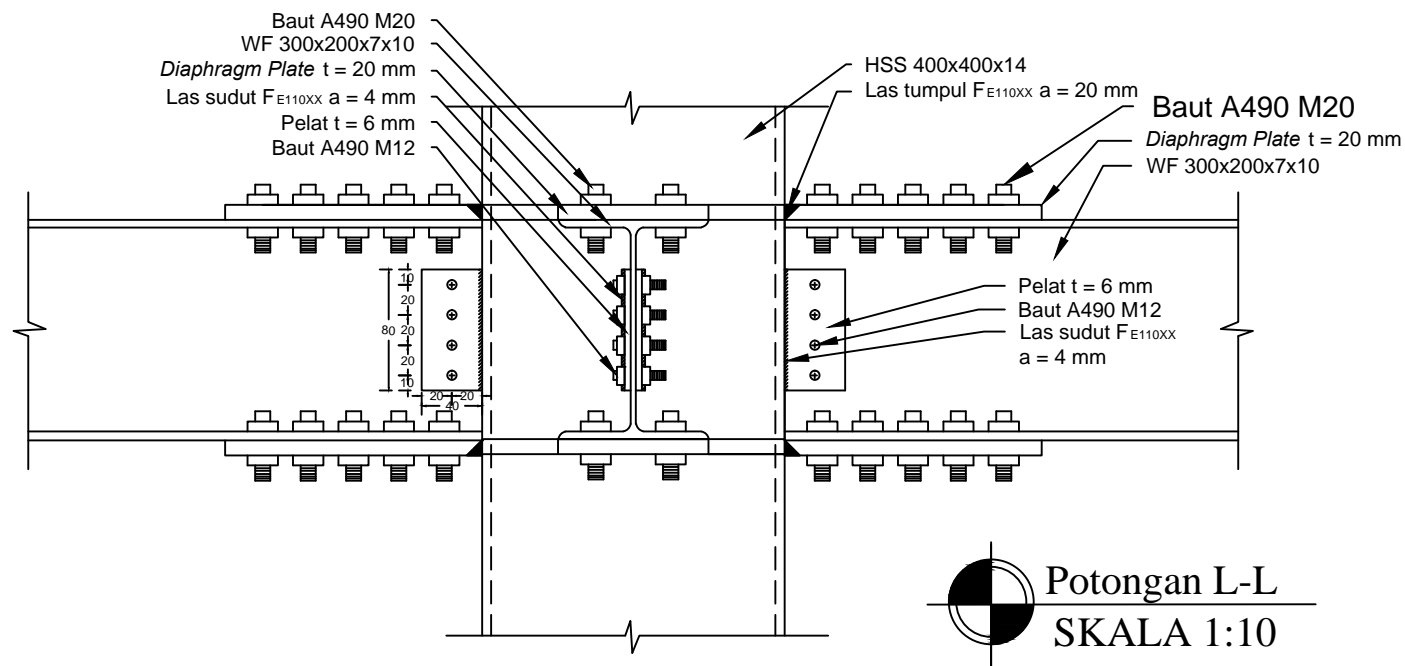
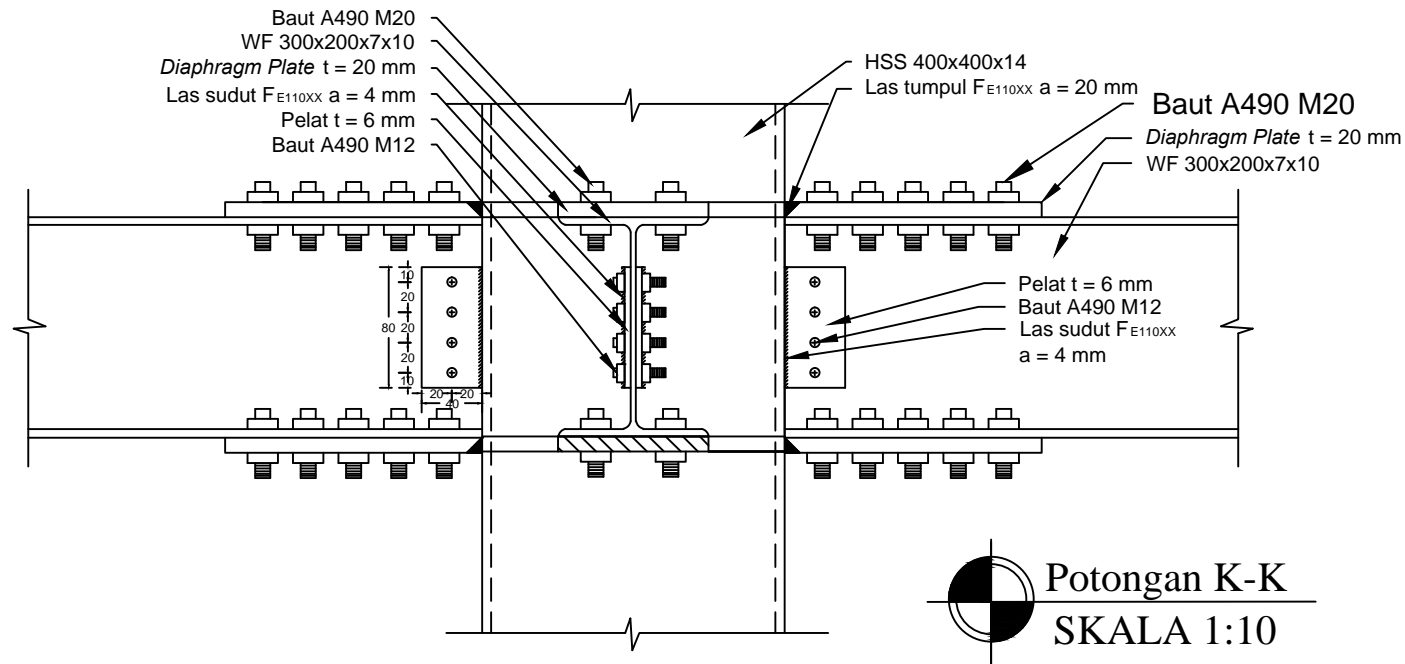
CATATAN

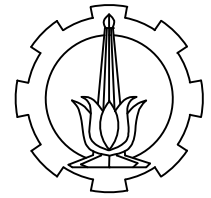
NO. LEMBAR

15

JUMLAH LEMBAR

35





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

PORTAL EBF

SKALA GAMBAR

1 : 50

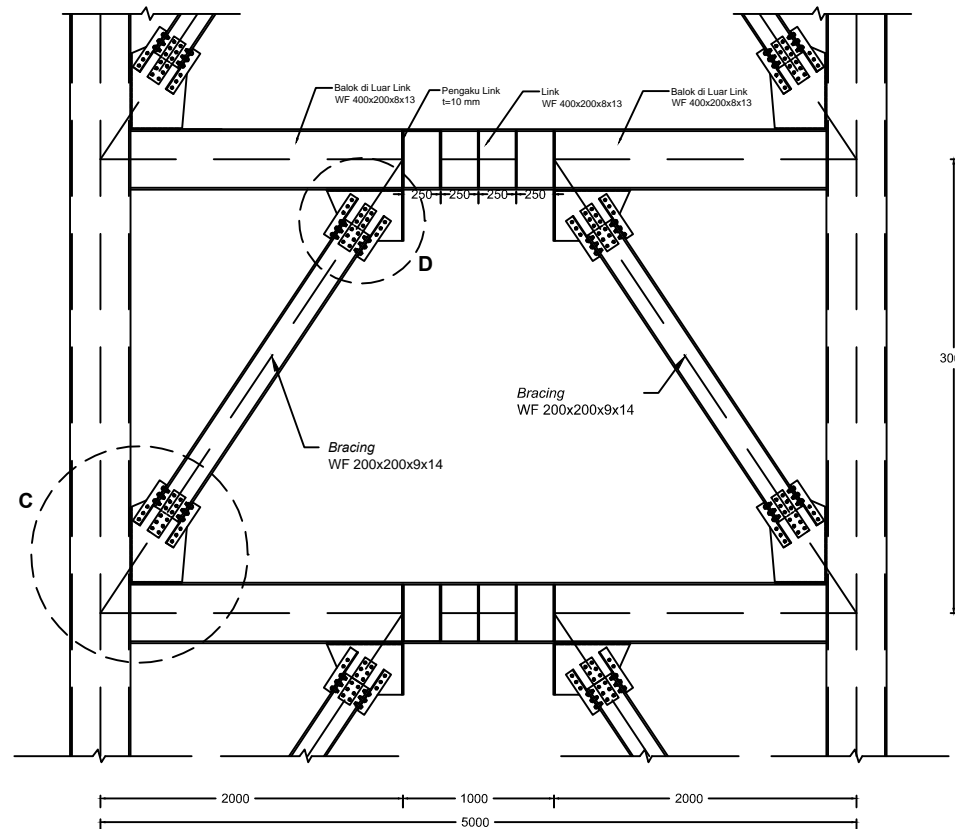
CATATAN

NO. LEMBAR

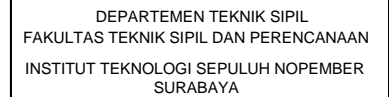
16

JUMLAH LEMBAR

35



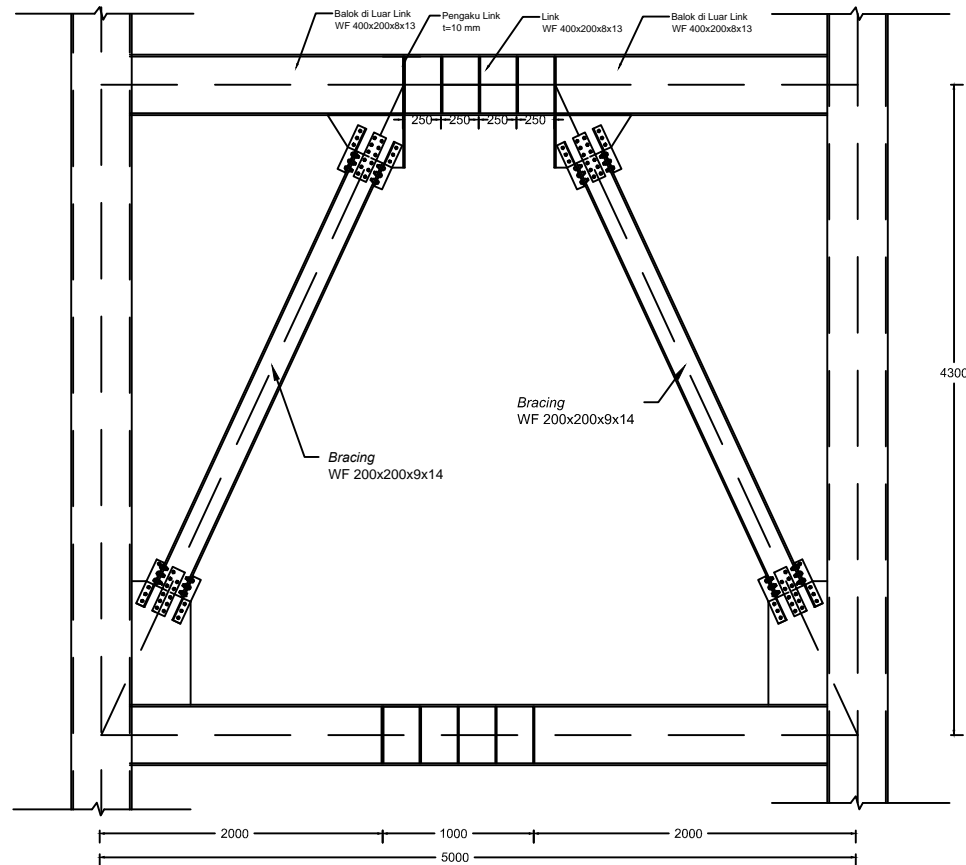
Portal EBF 1
SKALA 1:50

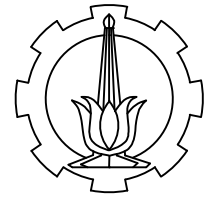


Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

CATATAN

35





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

PORTAL EBF

SKALA GAMBAR

1 : 50

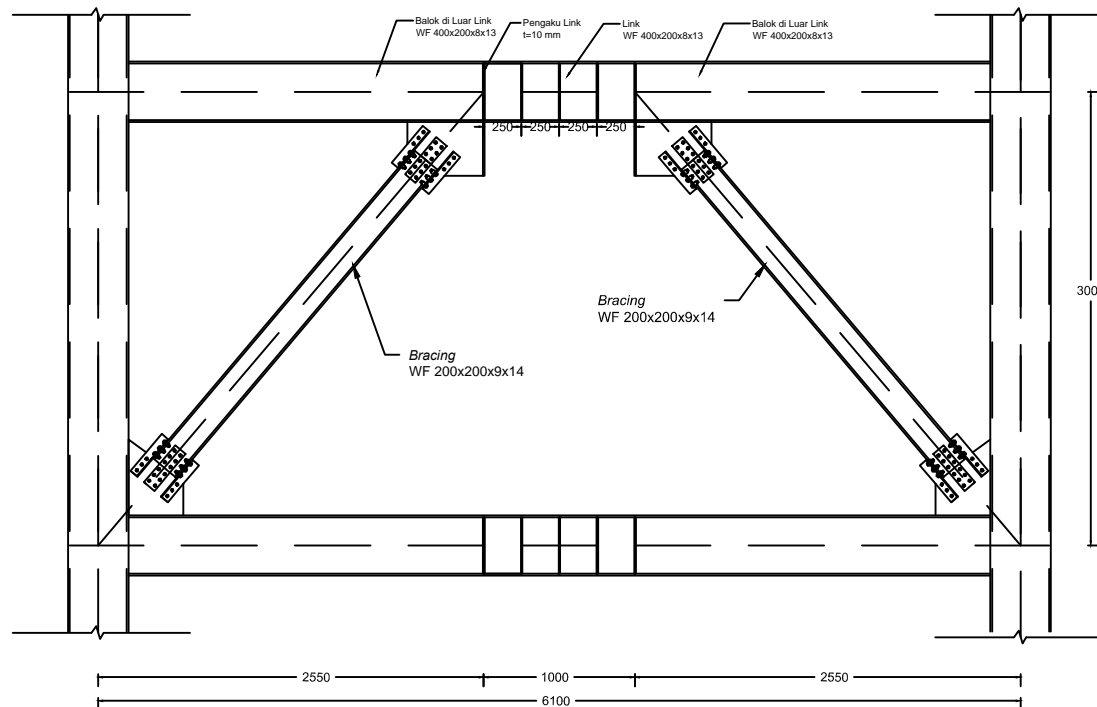
CATATAN

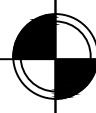
NO. LEMBAR

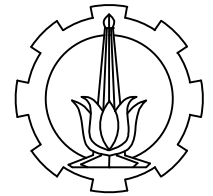
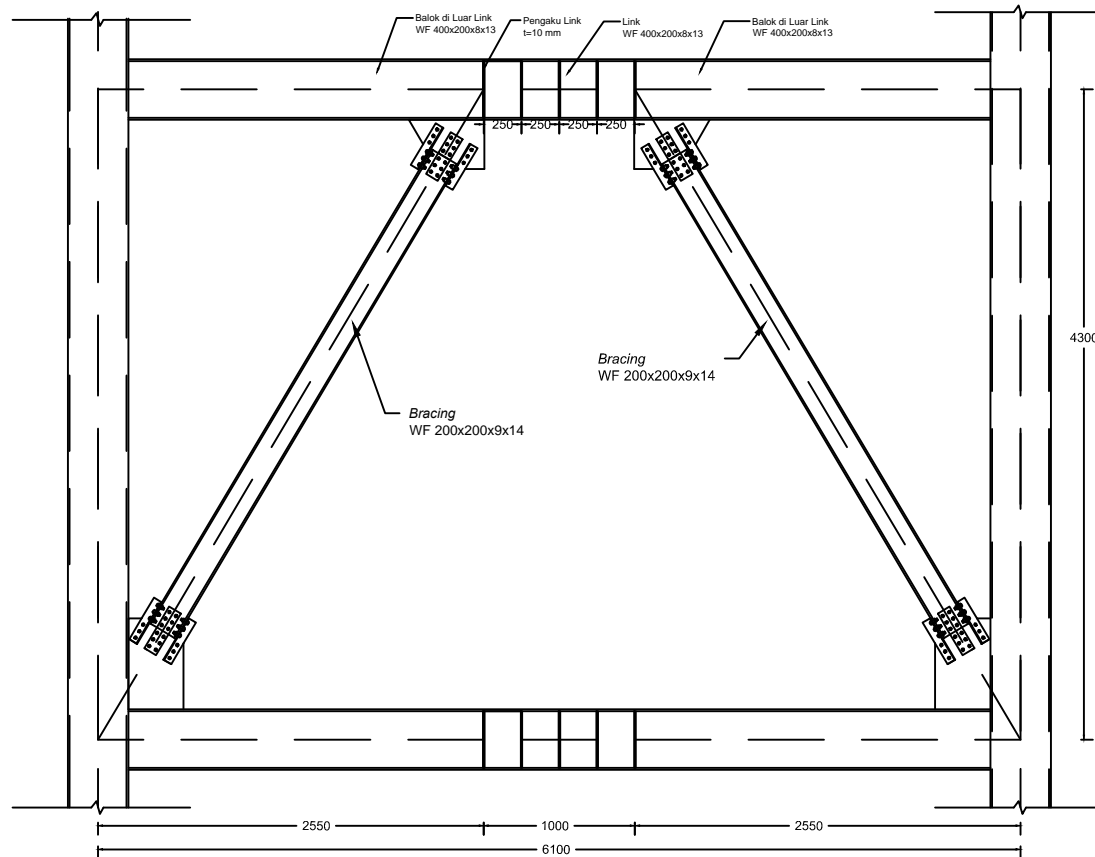
18

JUMLAH LEMBAR

35



 Portal EBF 3
SKALA 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
 Sistem Rangka Penguat Eksentris
 dengan Perbandingan Berat Material
 Baja terhadap Sistem Staggered Truss
 Frames pada Apartemen Purimas
 Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
 3113100036

NAMA GAMBAR

PORTAL EBF

SKALA GAMBAR

1 : 50

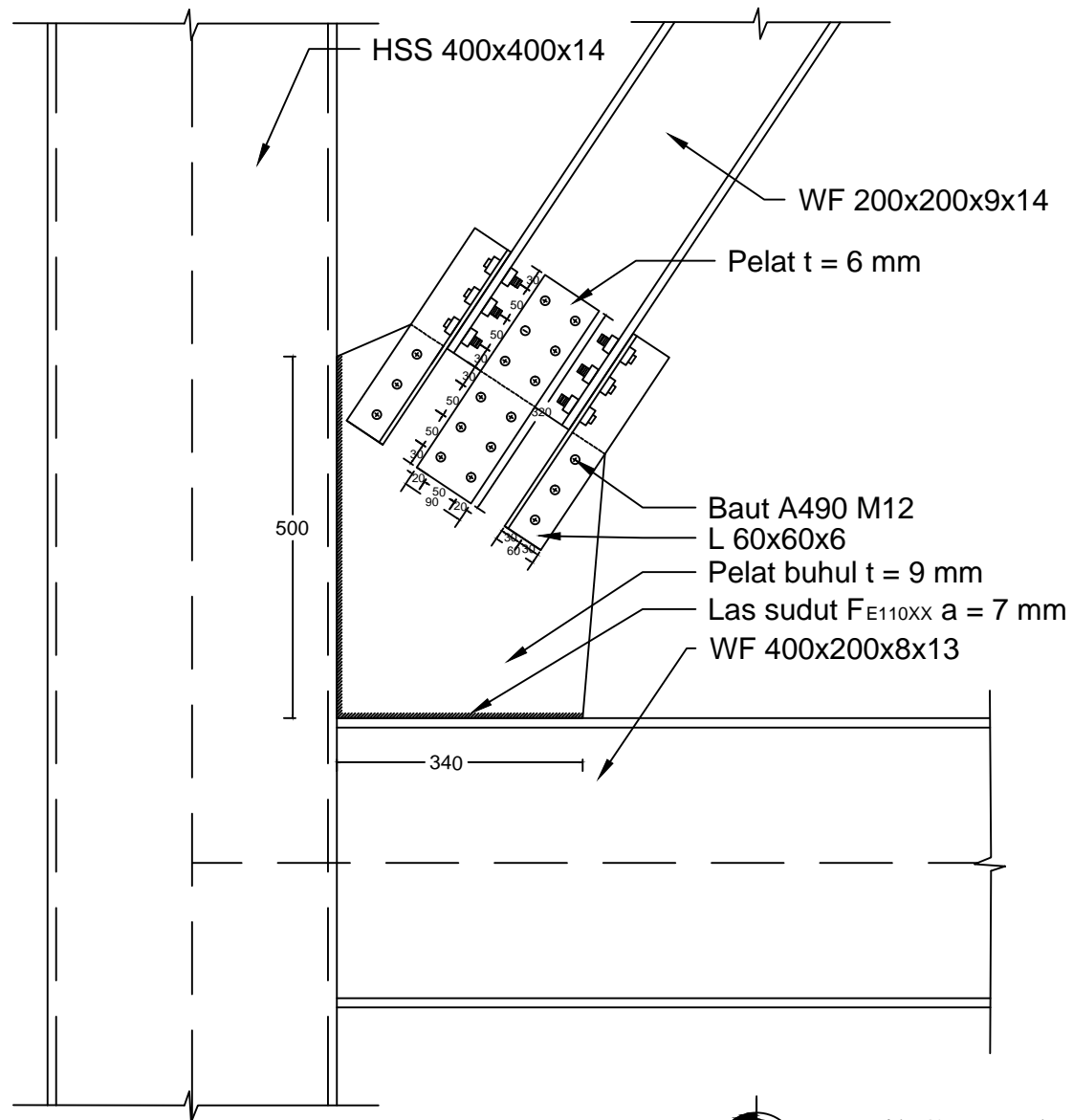
CATATAN

NO. LEMBAR

19

JUMLAH LEMBAR

35



Detail C Portal EBF
SKALA 1:10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

DETAIL PORTAL EBF

SKALA GAMBAR

1 : 10

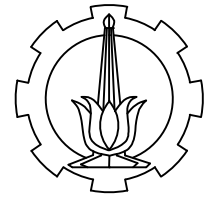
CATATAN

NO. LEMBAR

20

JUMLAH LEMBAR

35



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

DETAIL PORTAL EBF

SKALA GAMBAR

1 : 10

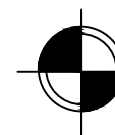
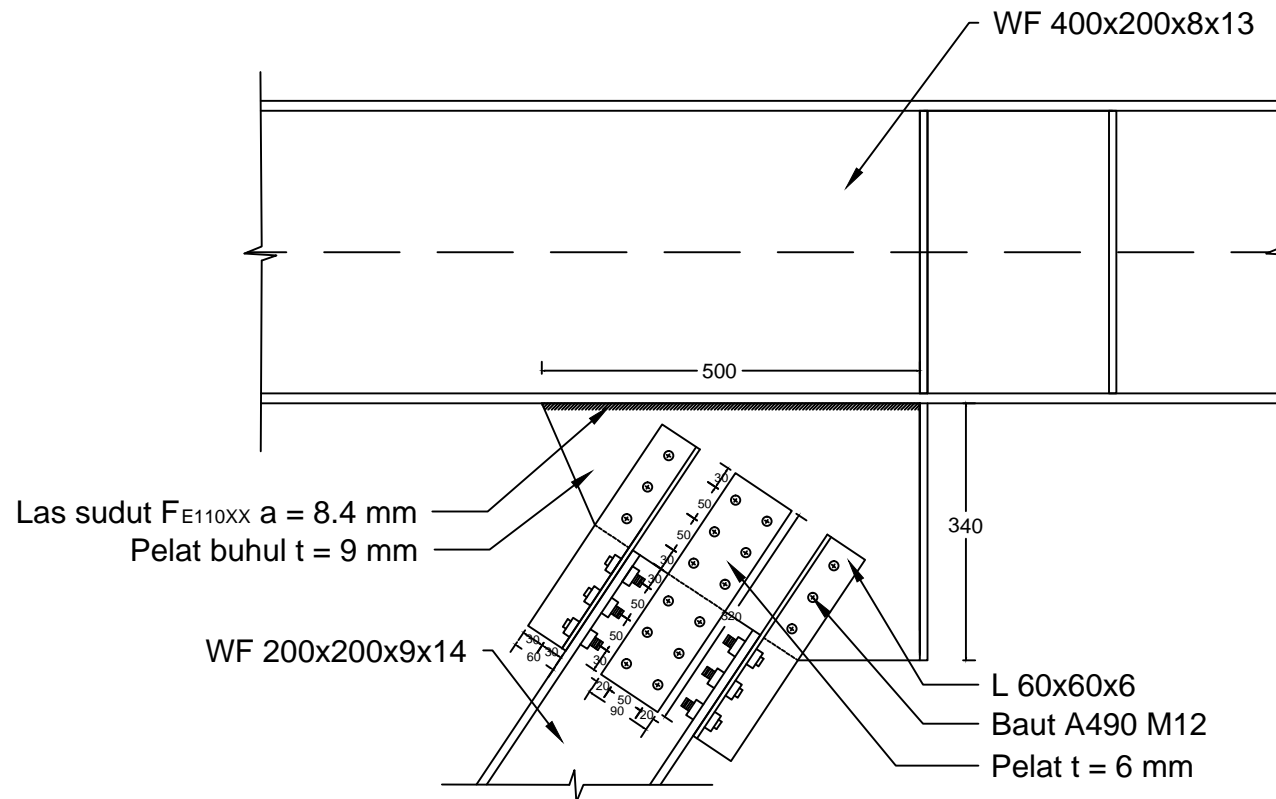
CATATAN

NO. LEMBAR

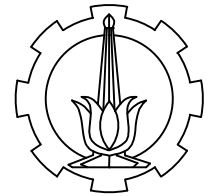
21

JUMLAH LEMBAR

35



Detail D Portal EBF
SKALA 1:10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

SAMBUNGAN BASE PLATE

SKALA GAMBAR

1 : 20

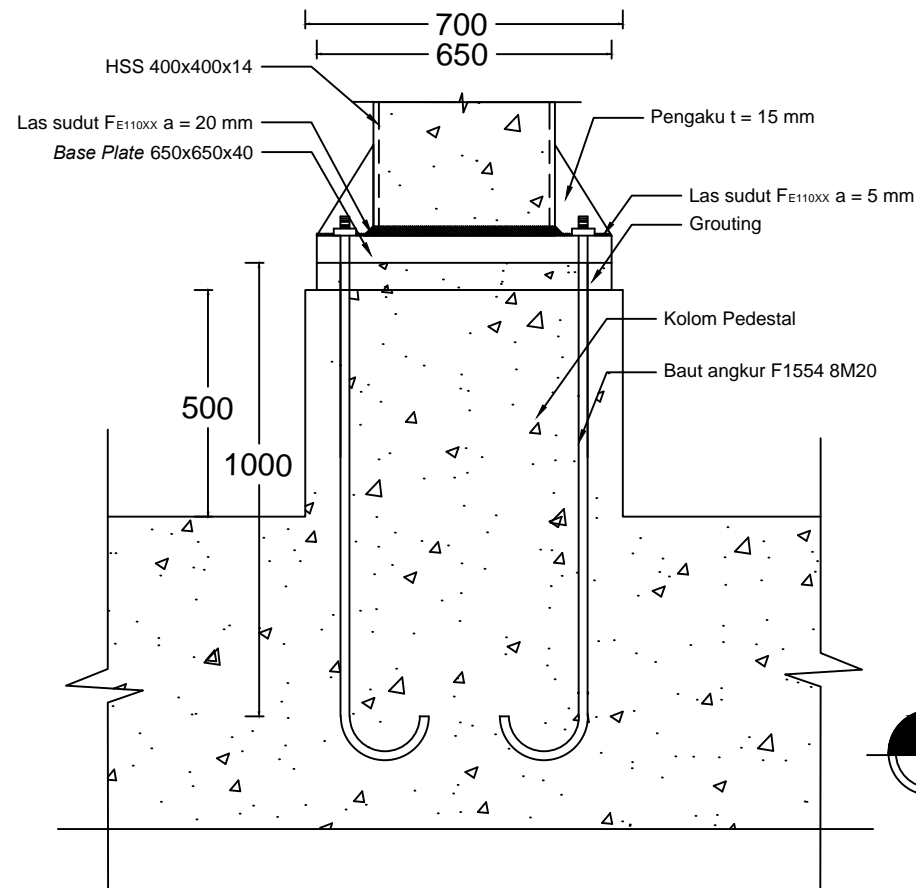
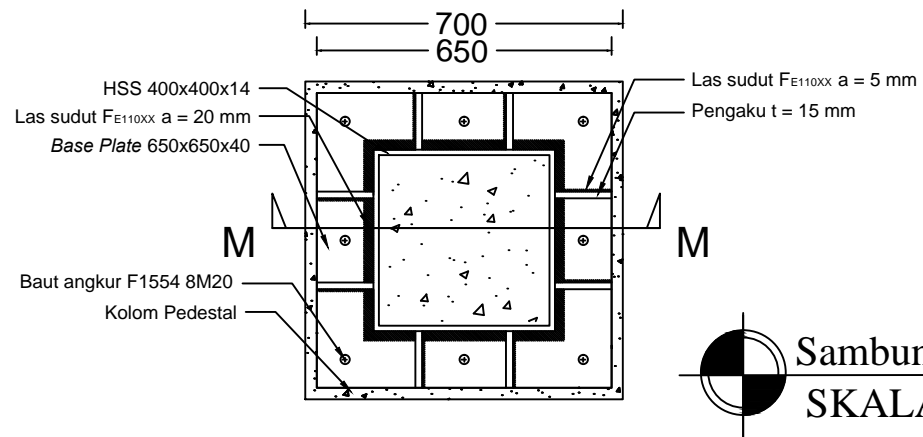
CATATAN

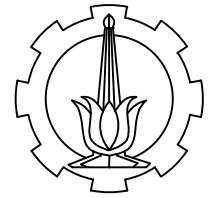
NO. LEMBAR

22

JUMLAH LEMBAR

35





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

DENAH PONDASI

SKALA GAMBAR

1 : 250

CATATAN

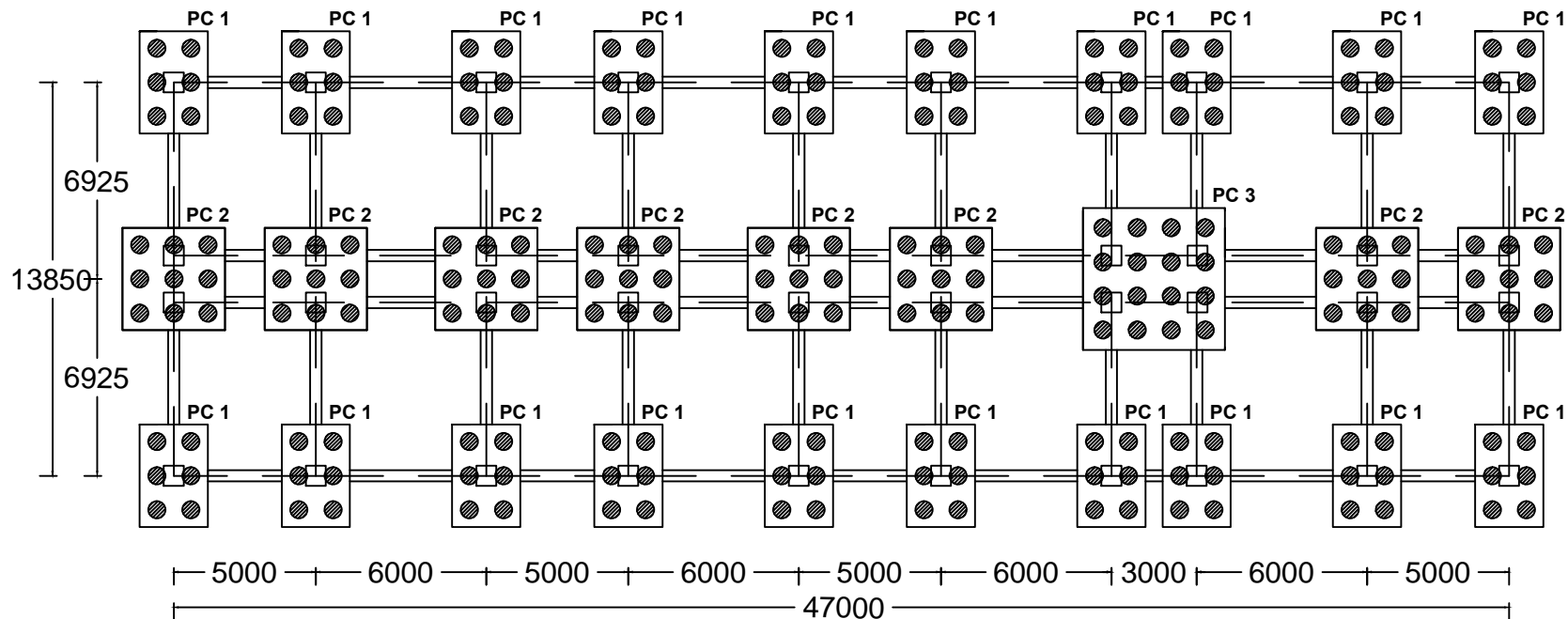
PC 1 = Pilecap Tipe 1
PC 2 = Pilecap Tipe 2
PC 3 = Pilecap Tipe 3

NO. LEMBAR

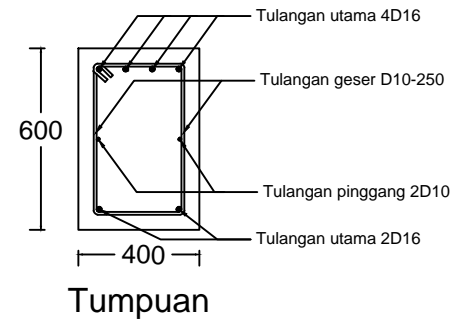
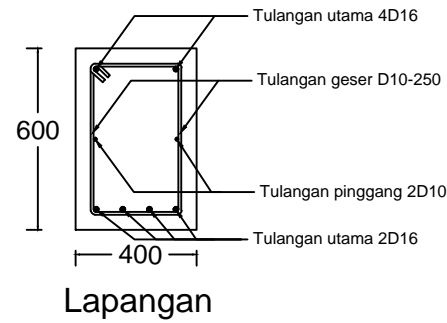
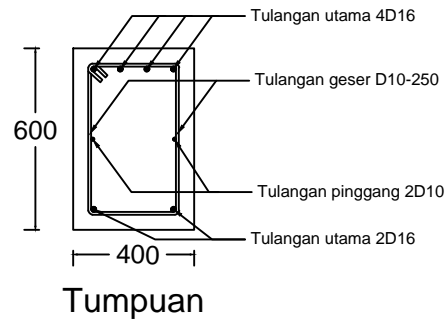
23

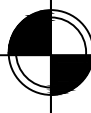
JUMLAH LEMBAR

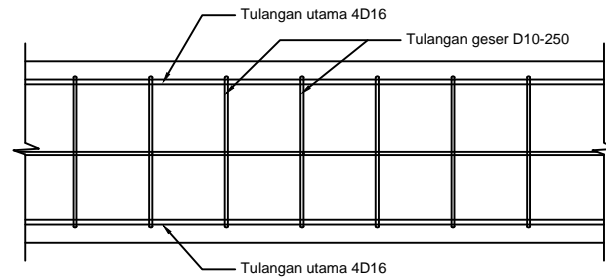
35




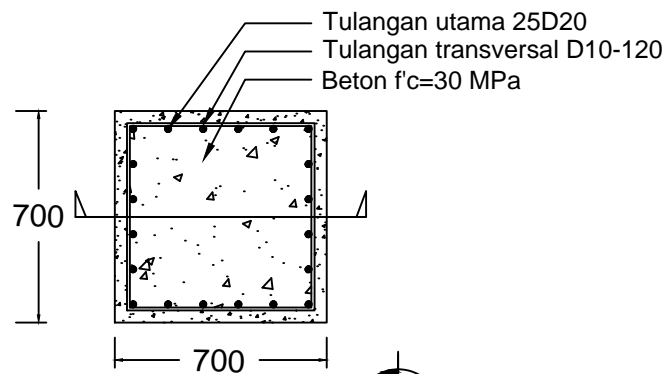
 Denah Pondasi
SKALA 1:250




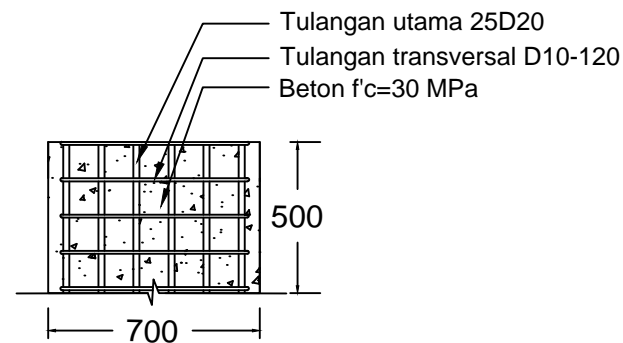
 **Potongan Melintang Balok *Sloof***
SKALA 1:25



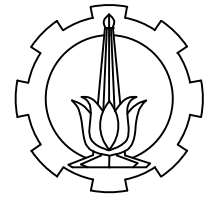
 **Potongan Memanjang Balok *Sloof***
SKALA 1:25



 **Penulangan Pedestal**
SKALA 1:25



 **Potongan Pedestal**
SKALA 1:25



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

PENULANGAN BALOK SLOOF
PENULANGAN KOLOM PEDESTAL

SKALA GAMBAR

1 : 25

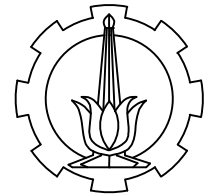
CATATAN

NO. LEMBAR

24

JUMLAH LEMBAR

35



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

TIPE PILECAP

SKALA GAMBAR

1 : 100

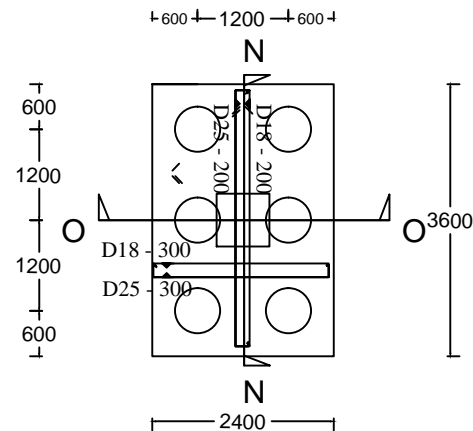
CATATAN

NO. LEMBAR

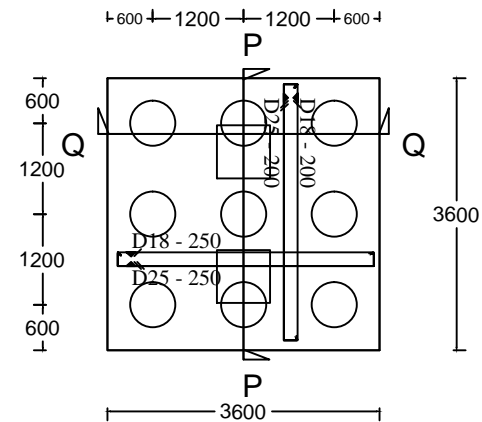
25


JUMLAH LEMBAR

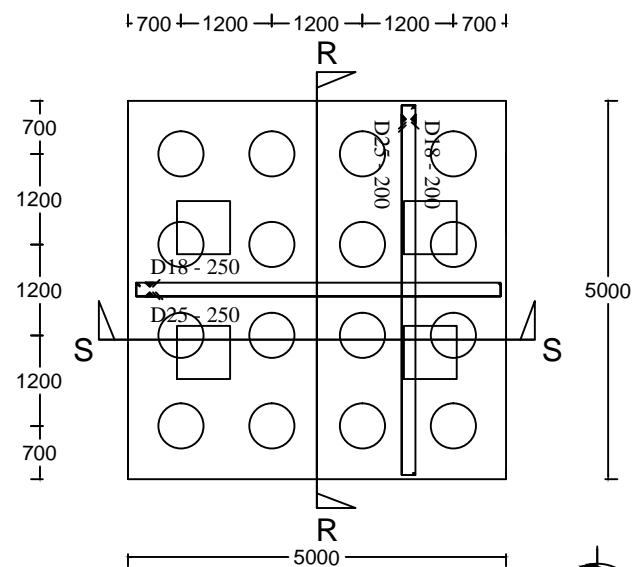
35



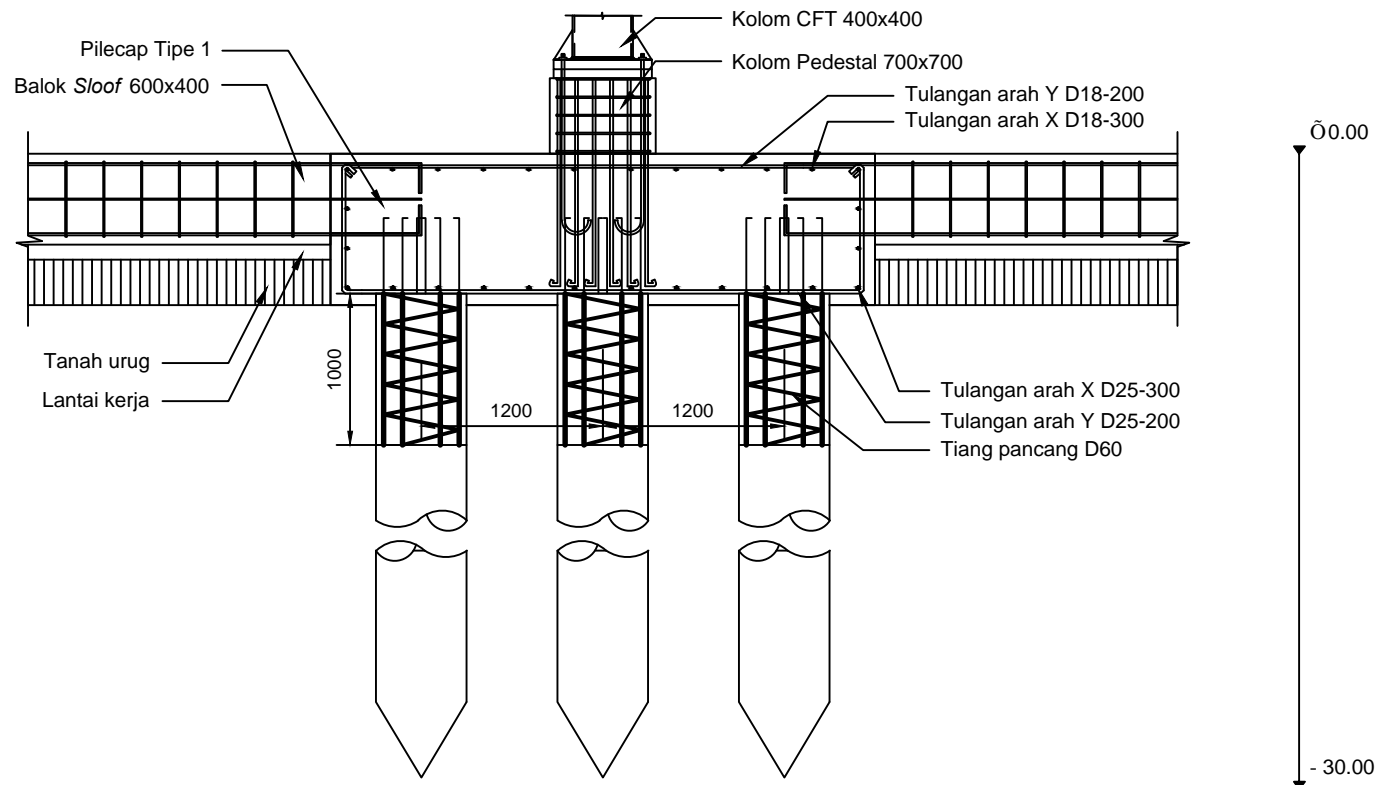
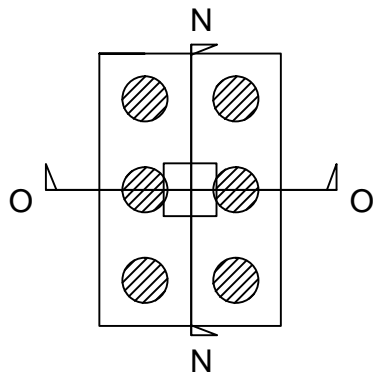
 **Pilecap Tipe 1**
SKALA 1:100



 **Pilecap Tipe 2**
SKALA 1:100



 **Pilecap Tipe 3**
SKALA 1:100



Potongan N-N
SKALA 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN PILECAP TIPE 1

SKALA GAMBAR

1 : 50

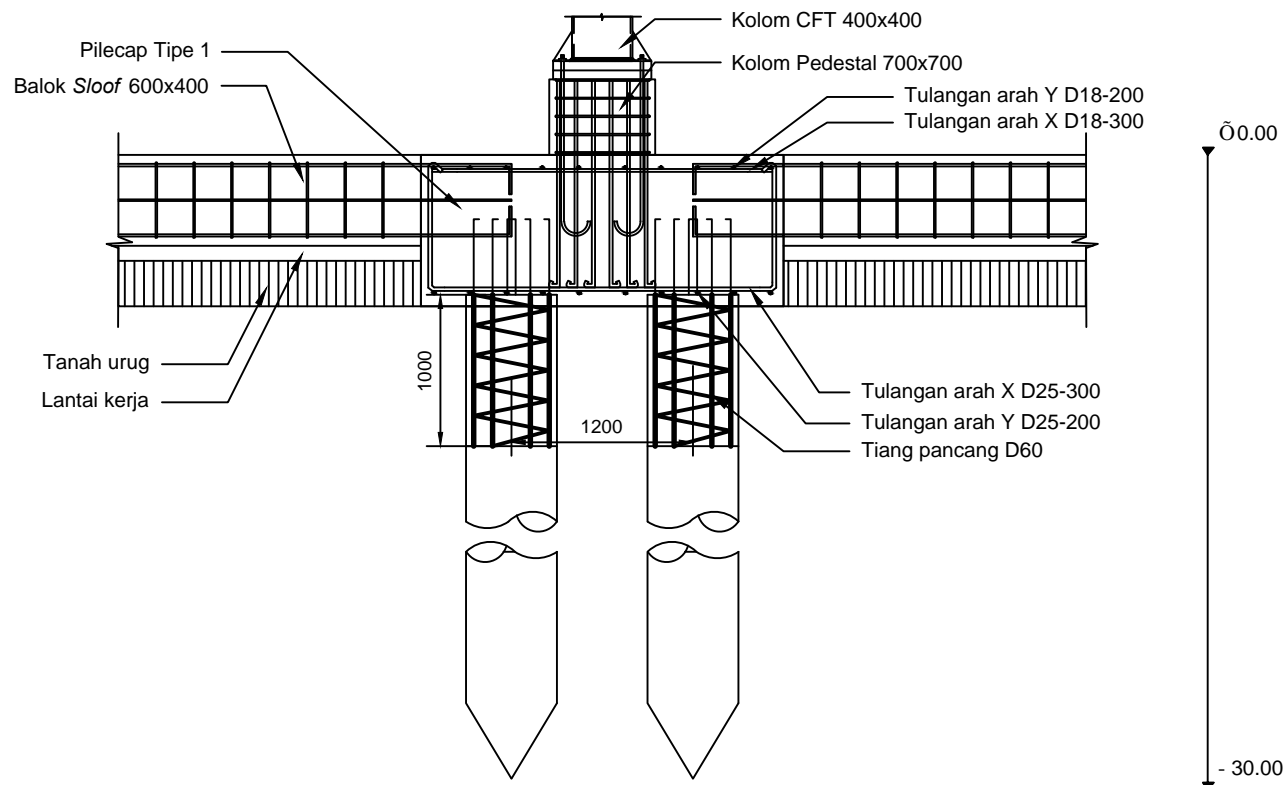
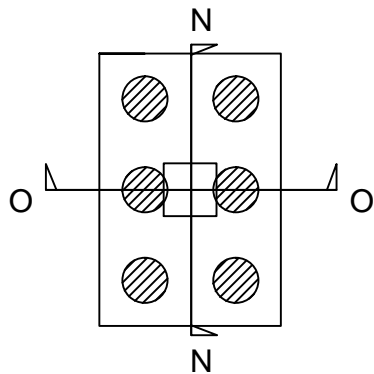
CATATAN

NO. LEMBAR

26

JUMLAH LEMBAR

35



Potongan O-O
SKALA 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN PILECAP TIPE 1

SKALA GAMBAR

1 : 50

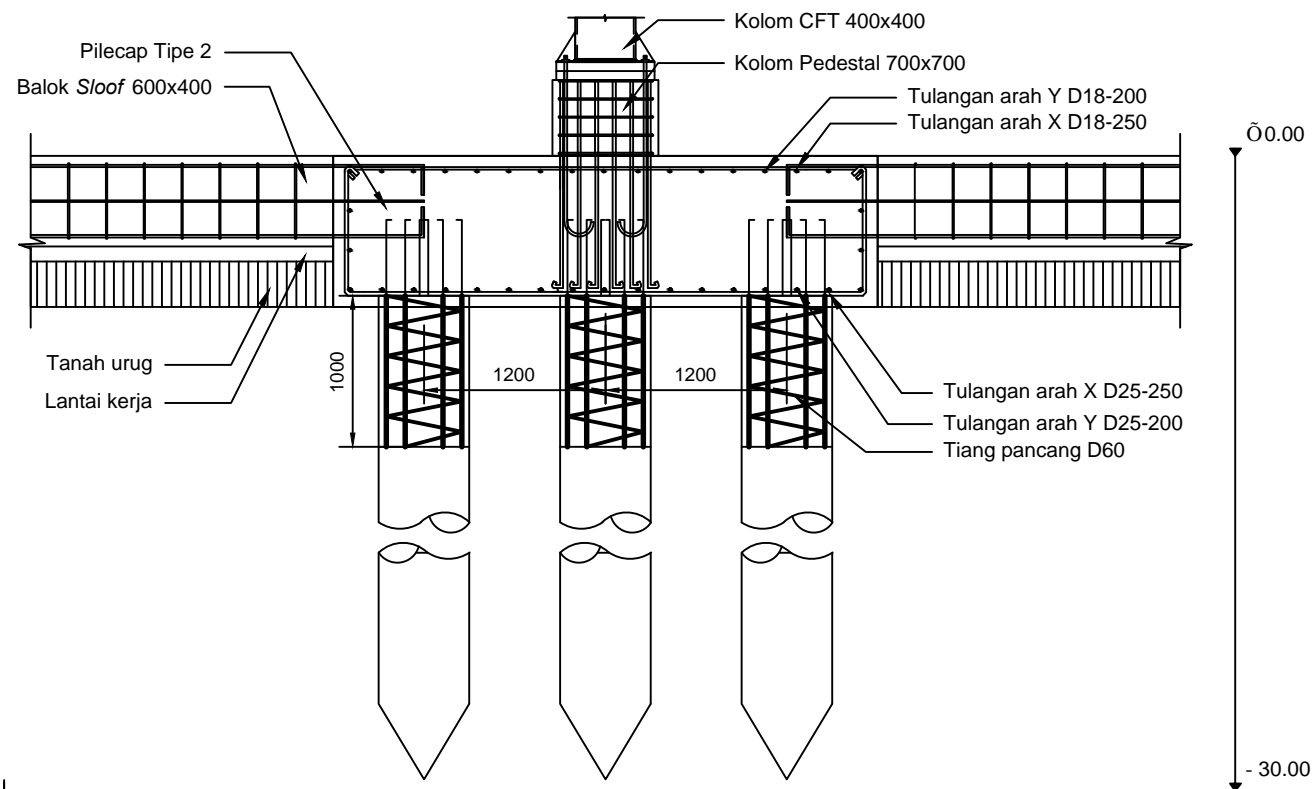
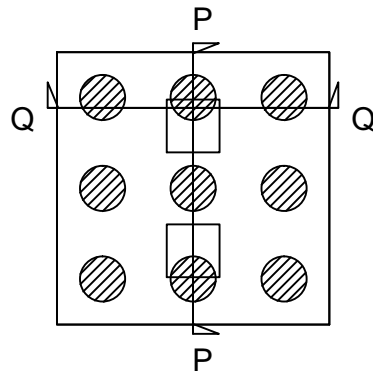
CATATAN

NO. LEMBAR

27

JUMLAH LEMBAR

35



 Potongan Q-Q
SKALA 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN PILECAP TIPE 2

SKALA GAMBAR

1 : 50

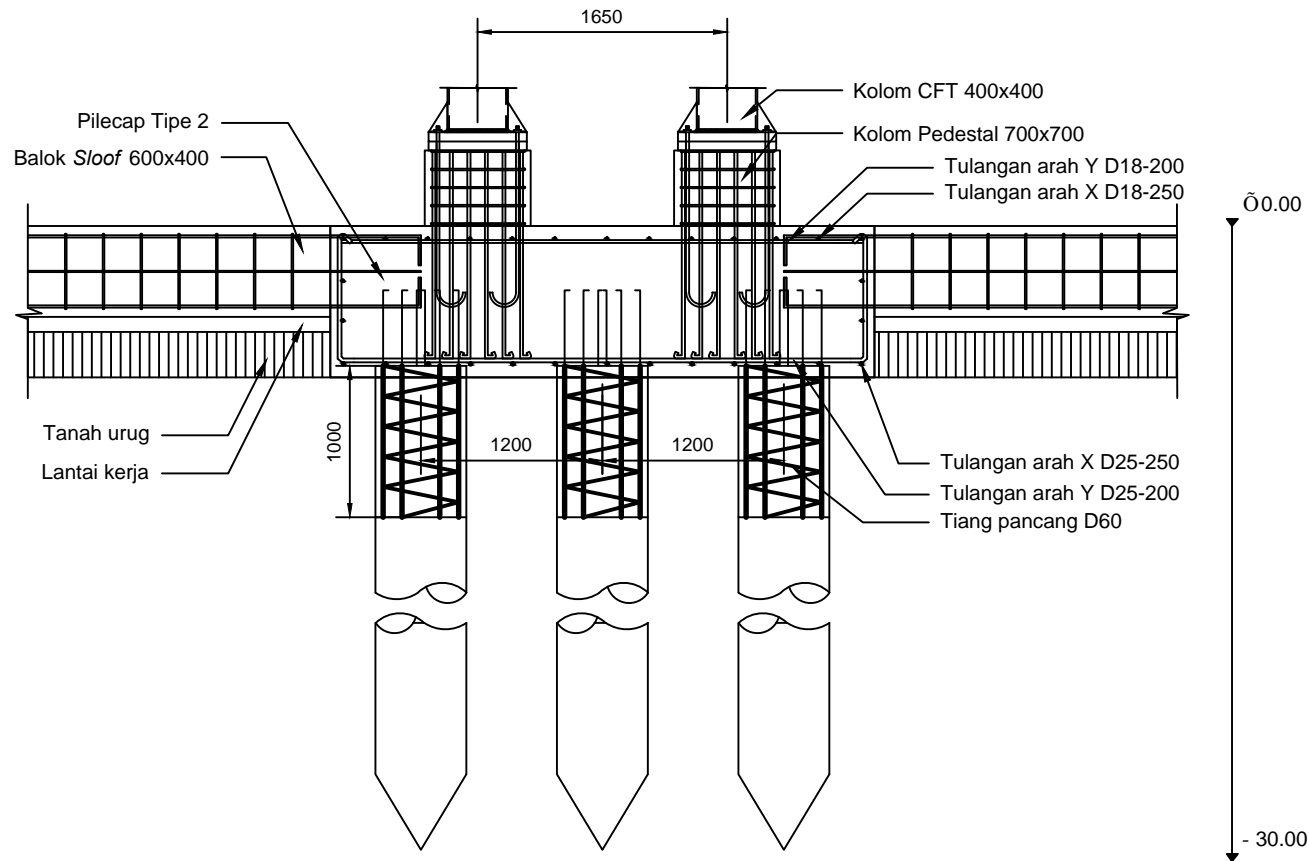
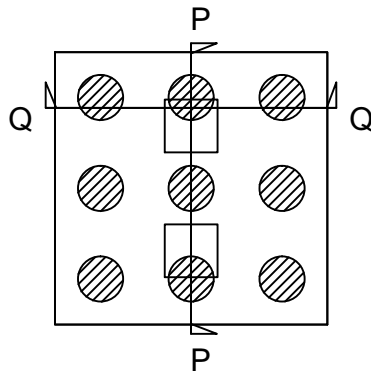
CATATAN

NO. LEMBAR

28

JUMLAH LEMBAR

35



Potongan P-P
SKALA 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN PILECAP TIPE 2

SKALA GAMBAR

1 : 50

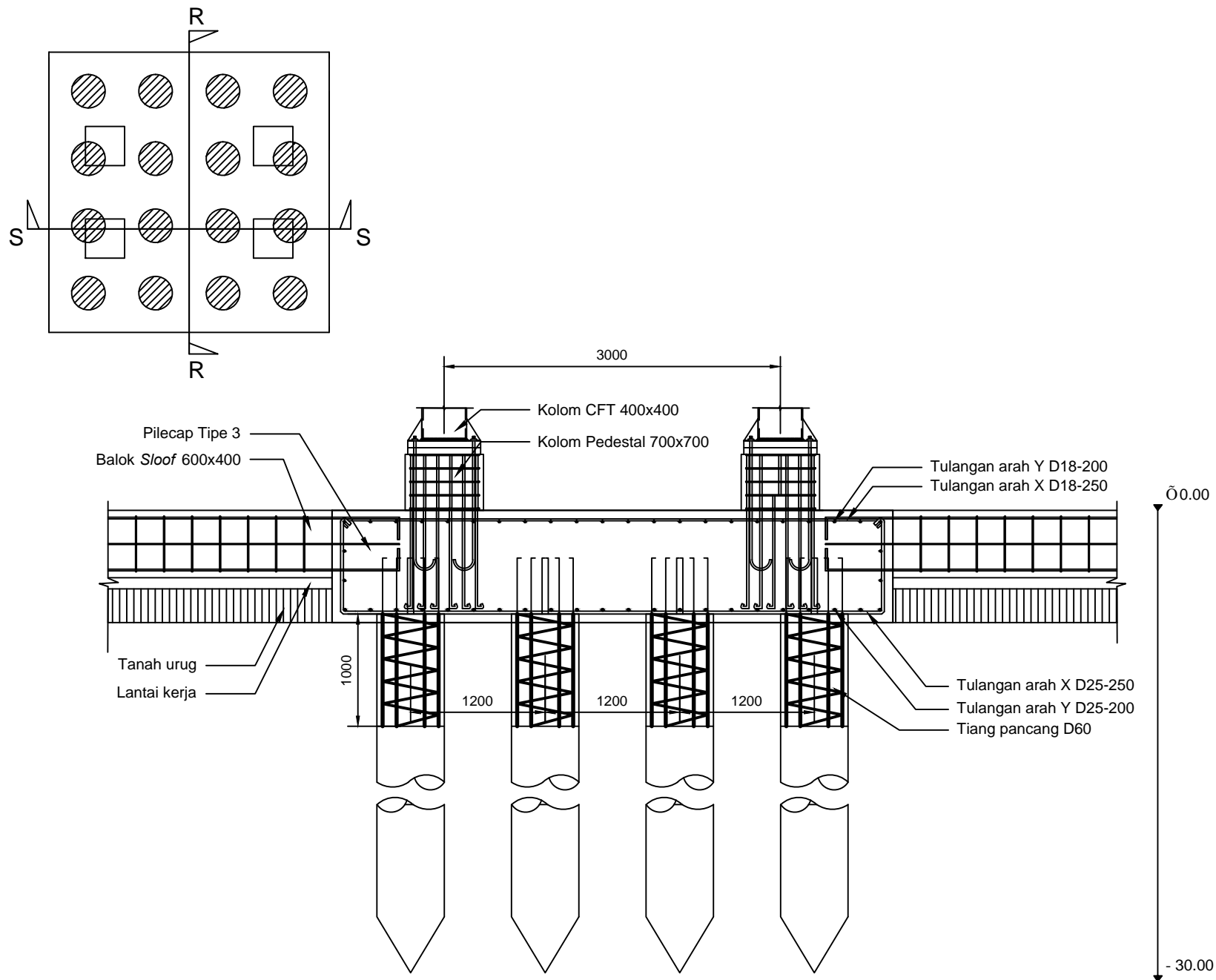
CATATAN

NO. LEMBAR

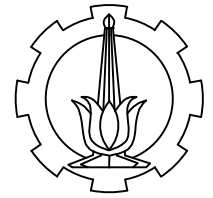
29

JUMLAH LEMBAR

35



Potongan R-R
SKALA 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN PILECAP TIPE 3

SKALA GAMBAR

1 : 50

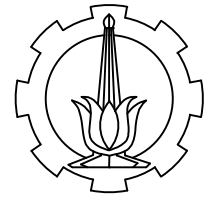
CATATAN

NO. LEMBAR

30

JUMLAH LEMBAR

35



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN PILECAP TIPE 3

SKALA GAMBAR

1 : 50

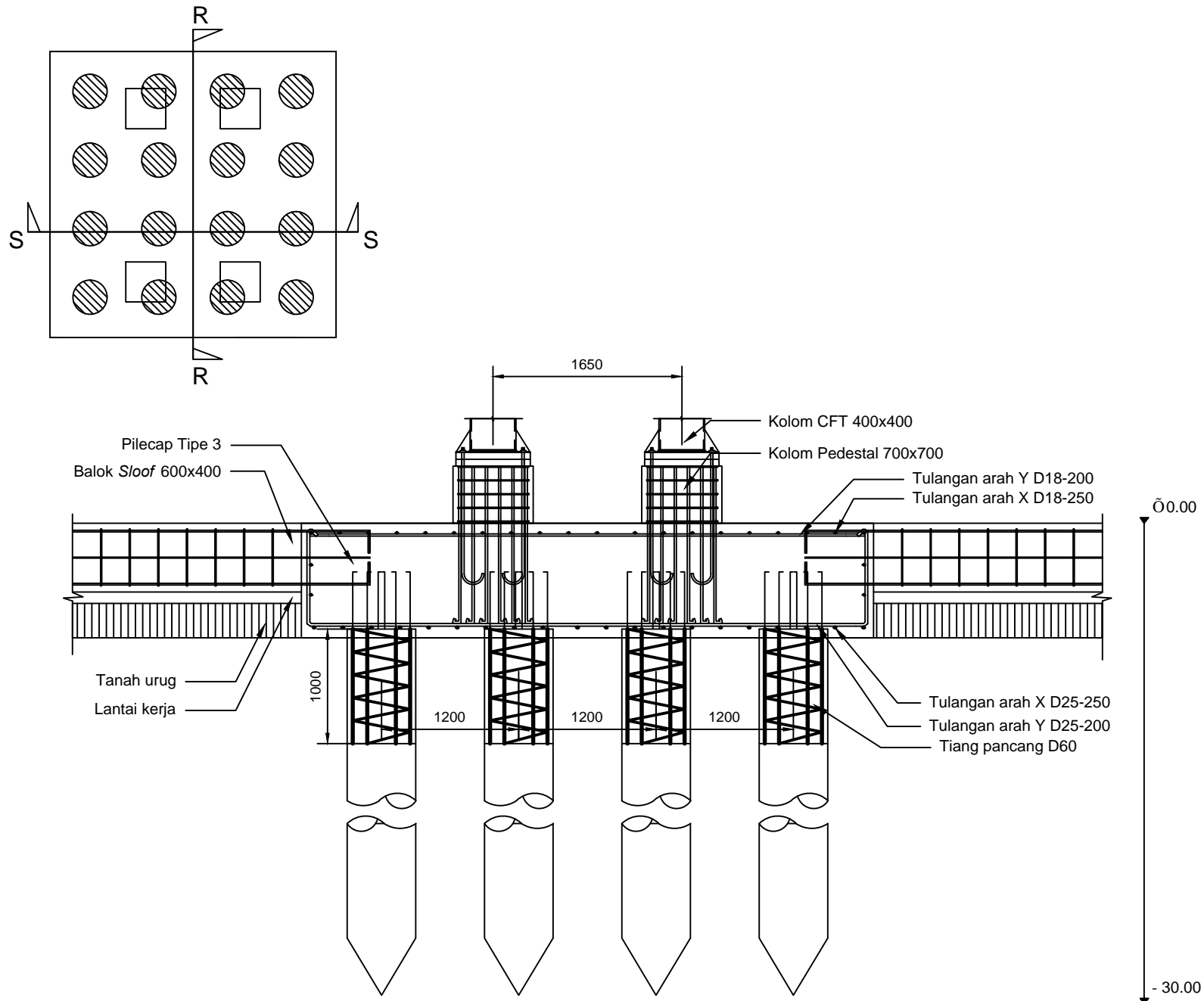
CATATAN

NO. LEMBAR

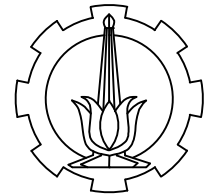
31

JUMLAH LEMBAR

35



Potongan S-S
SKALA 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

DENAH LANTAI

SKALA GAMBAR

1 : 250

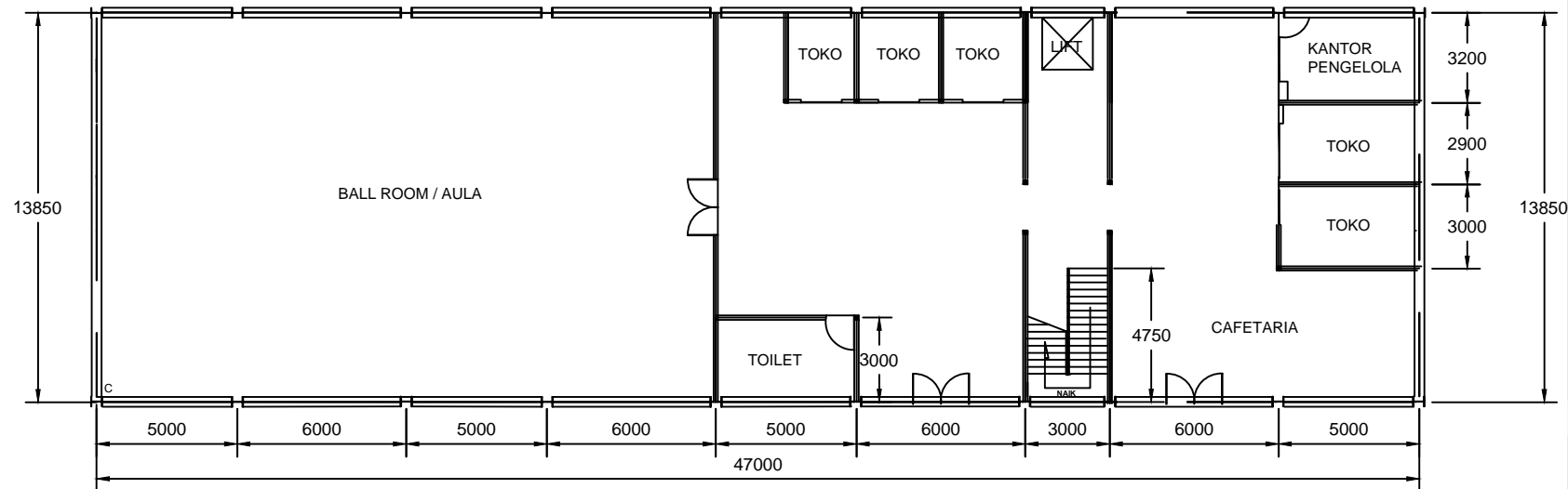
CATATAN

NO. LEMBAR

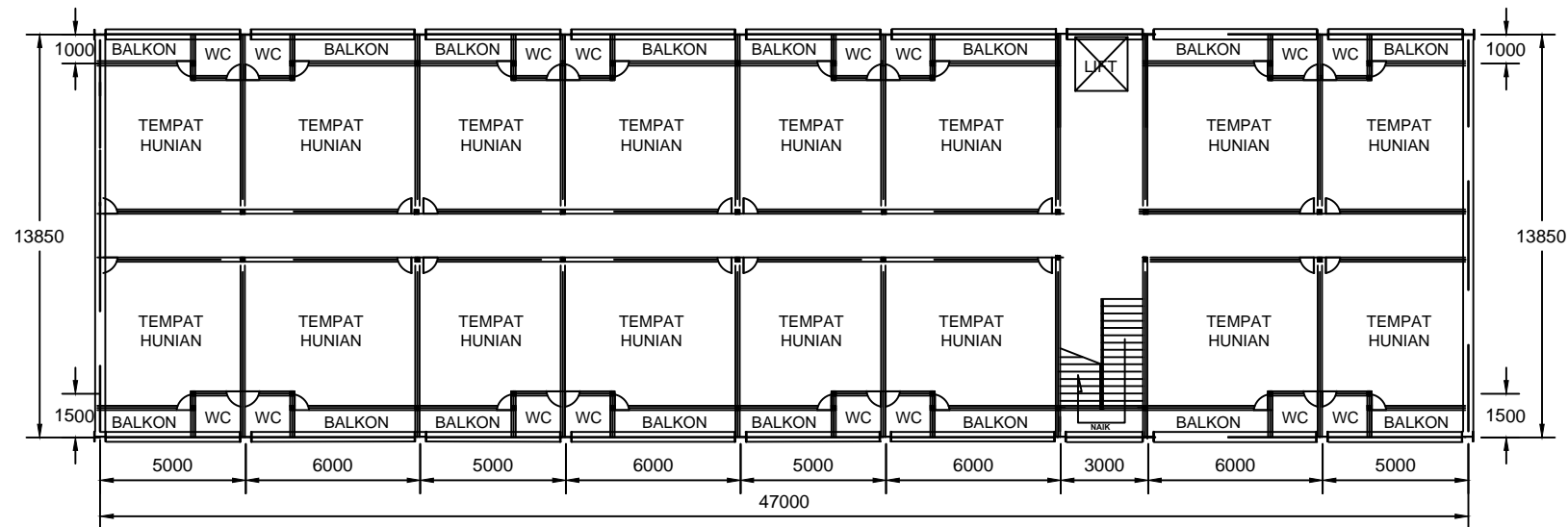
32

JUMLAH LEMBAR

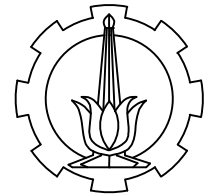
35



Denah Lantai Dasar
SKALA 1:250



Denah Lantai 2-13
SKALA 1:250



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

DENAH PEMBALOKAN ATAP
DAN LANTAI STF

SKALA GAMBAR

1 : 250

CATATAN

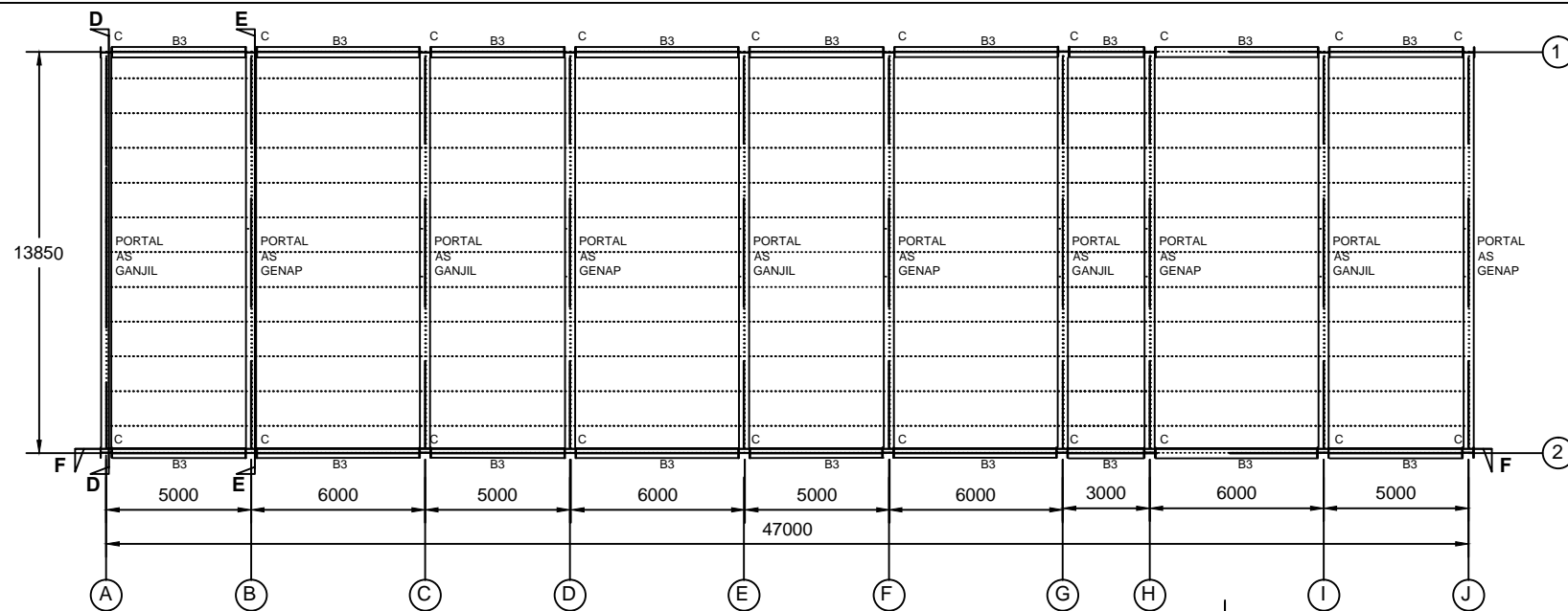
B3 = WF 600X300X12X20
C = WF 400X400X45X70
P = HCS (t = 200 mm)
PORTAL AS GANJIL DAN AS GENAP
DAPAT DILIHAT PADA GAMBAR 33

NO. LEMBAR

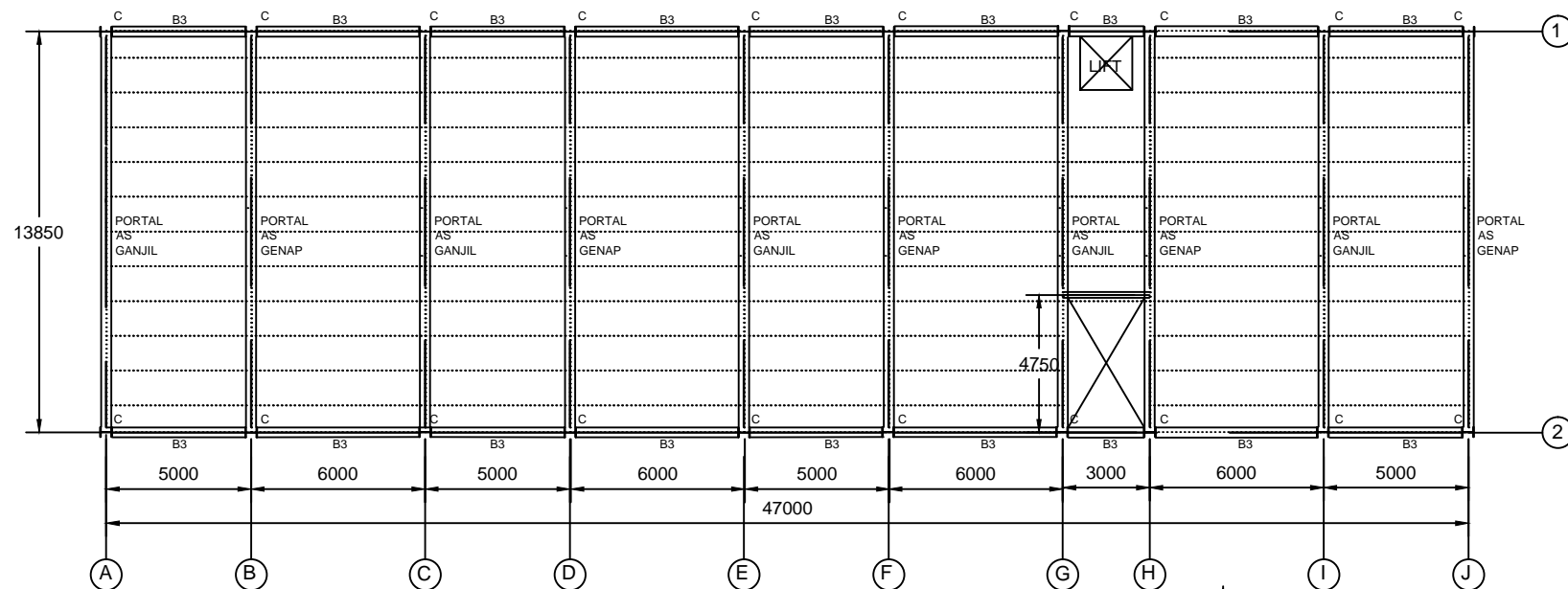
33

JUMLAH LEMBAR

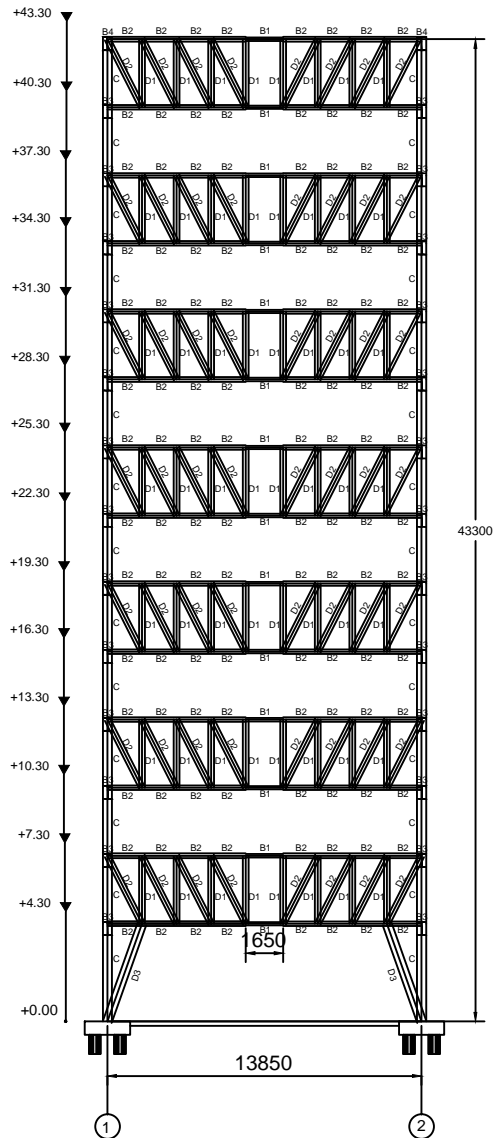
35



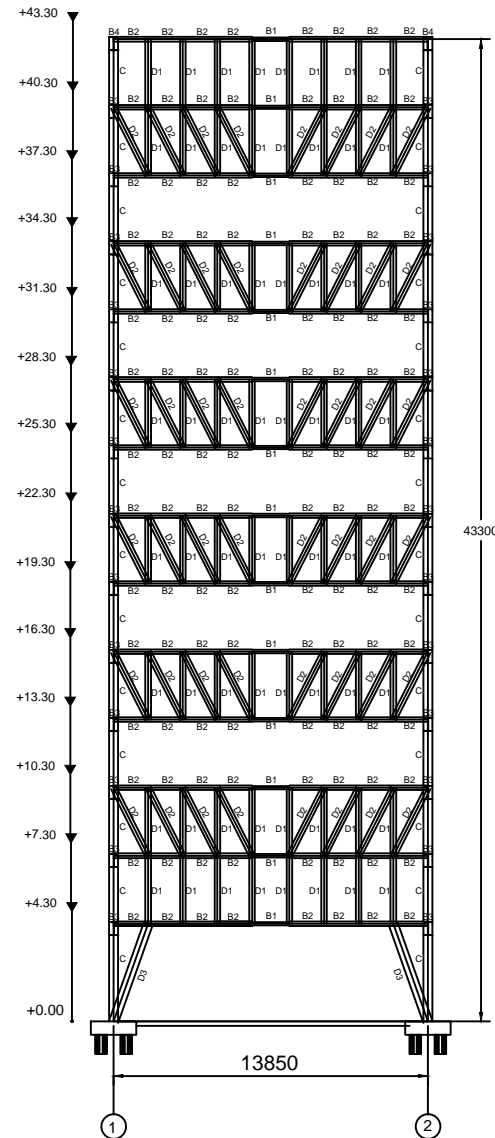
Denah Balok Atap
SKALA 1:250



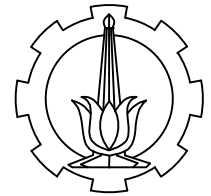
Denah Balok Lantai
SKALA 1:250



Potongan D-D (As Ganjil)
SKALA 1:300



Potongan E-E (As Genap)
SKALA 1:300



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN MELINTANG STF

SKALA GAMBAR

1 : 300

CATATAN

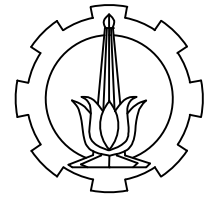
B1 = WF 300X150X5.5X8
B2 = WF 300X200X8X12
B3 = WF 600X300X12X20
B4 = WF 600X200X11X17
C = WF 400X400X45X70
D1 = HSS 250X250X16
D2 = HSS 250X250X16
D3 = HSS 400X400X12

NO. LEMBAR

34

JUMLAH LEMBAR

35



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Struktur Baja
Sistem Rangka Pengaku Eksentris
dengan Perbandingan Berat Material
Baja terhadap Sistem Staggered Truss
Frames pada Apartemen Purimas
Surabaya

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI, ST. MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. ISDARMANU, MSc

NAMA & NRP MAHASISWA

ILHAM PRATAMA BUDIONO
3113100036

NAMA GAMBAR

POTONGAN MEMANJANG STF

SKALA GAMBAR

1 : 300

CATATAN

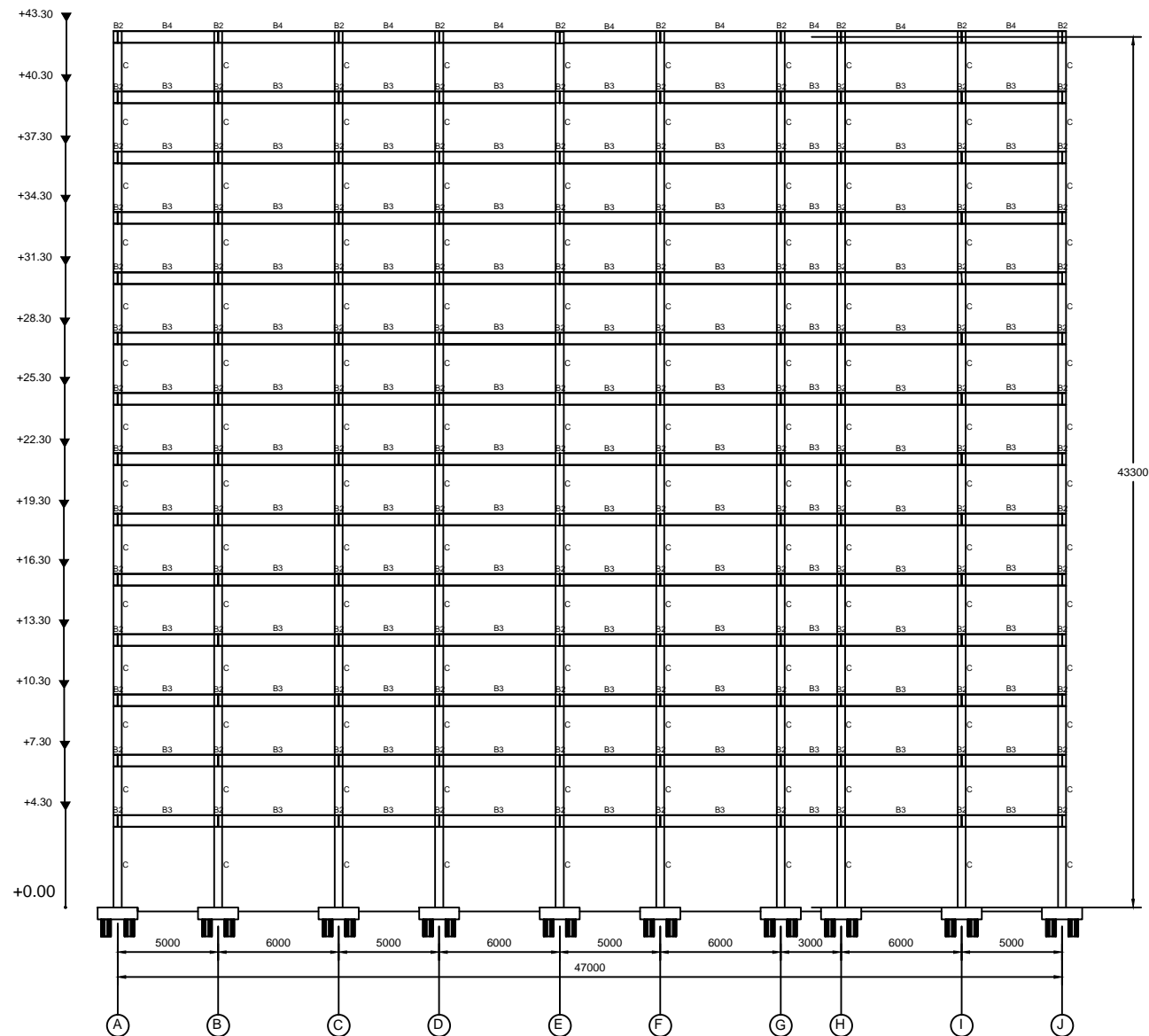
B2 = WF 300X200X8X12
B3 = WF 600X300X12X20
B4 = WF 600X200X11X17
C = WF 400X400X45X70

NO. LEMBAR

35

JUMLAH LEMBAR

35



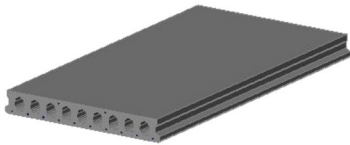
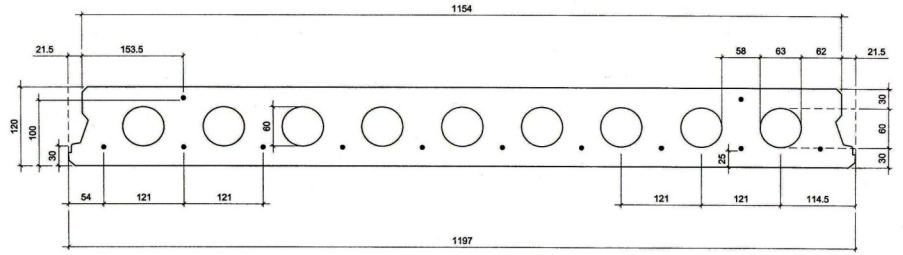
Potongan F-F
SKALA 1:300

SPESIFIKASI UKURAN DAN TYPE PELAT BETON BERONGGA PRATEGANG PRACETAK (HCS)



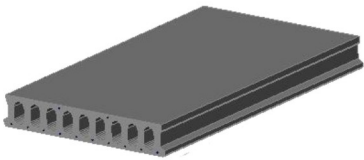
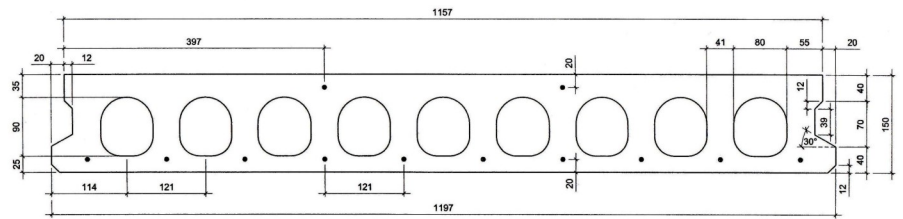
Type	Area (cm ²)	Self Load (Kg/m ²)	Rongga
HCS 120	990,88	209	26%

PENAMPANG TEBAL 120 mm



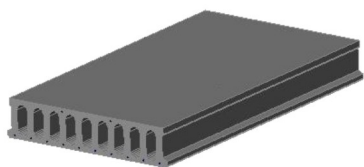
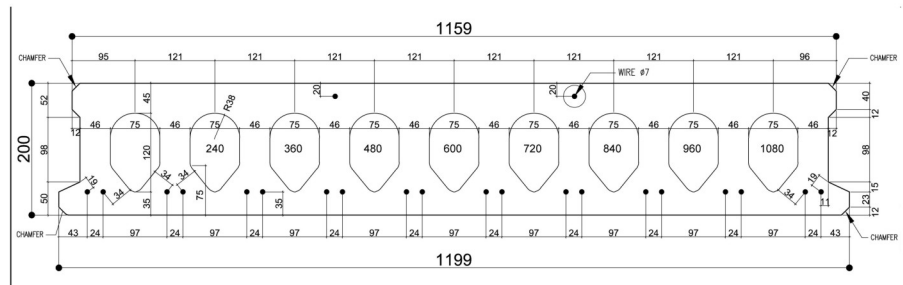
Type	Area (cm ²)	Self Load (Kg/m ²)	Rongga
HCS 150	1.117,18	247	35,80%

PENAMPANG TEBAL 150 mm



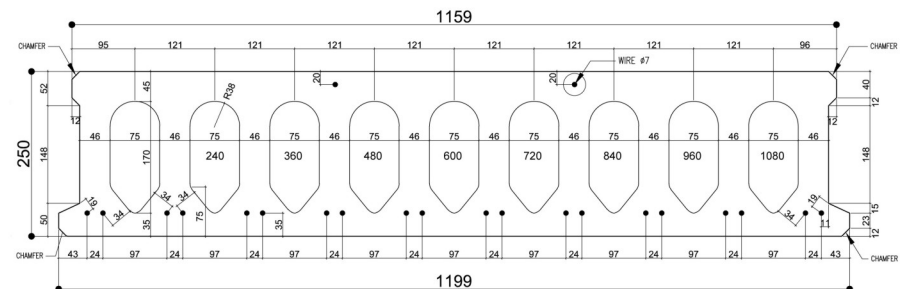
Type	Area (cm ²)	Self Load (Kg/m ²)	Rongga
HCS 200	1.323,68	260	42,60%

PENAMPANG TEBAL 200 mm



Type	Area (cm ²)	Self Load (Kg/m ²)	Rongga
HCS 250	1.530,18	306	46,70%

PENAMPANG TEBAL 250 mm



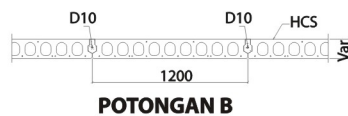
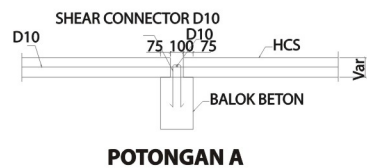
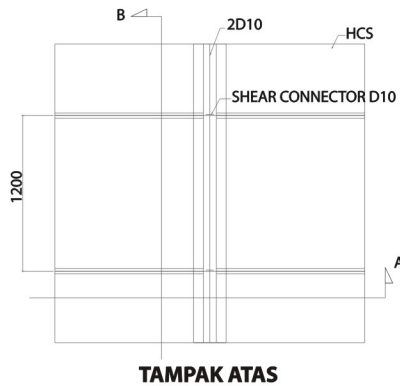
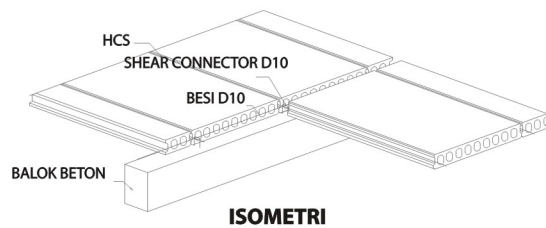
1. Shear Connector

Untuk HCS dengan bentang lebih dari 3 meter, lubang joint dimasukan besi D10 sebagai tulangan share connector.

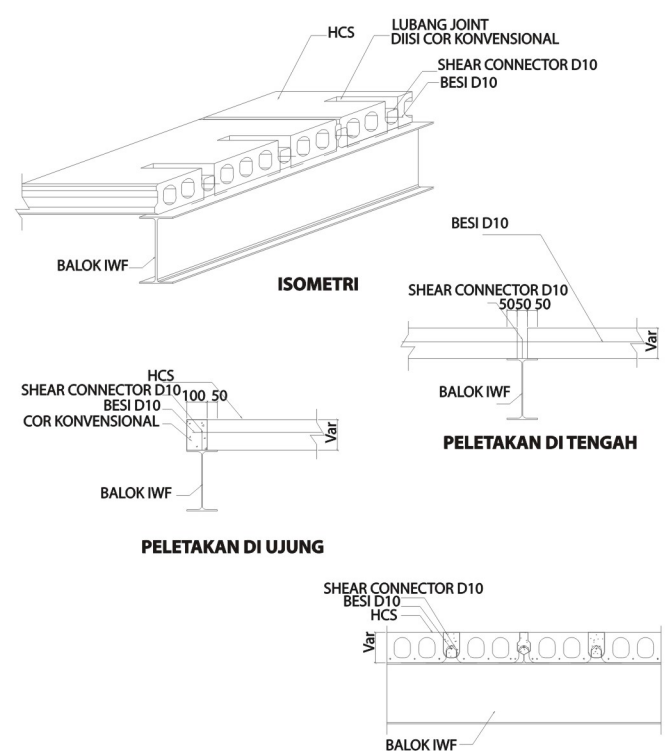
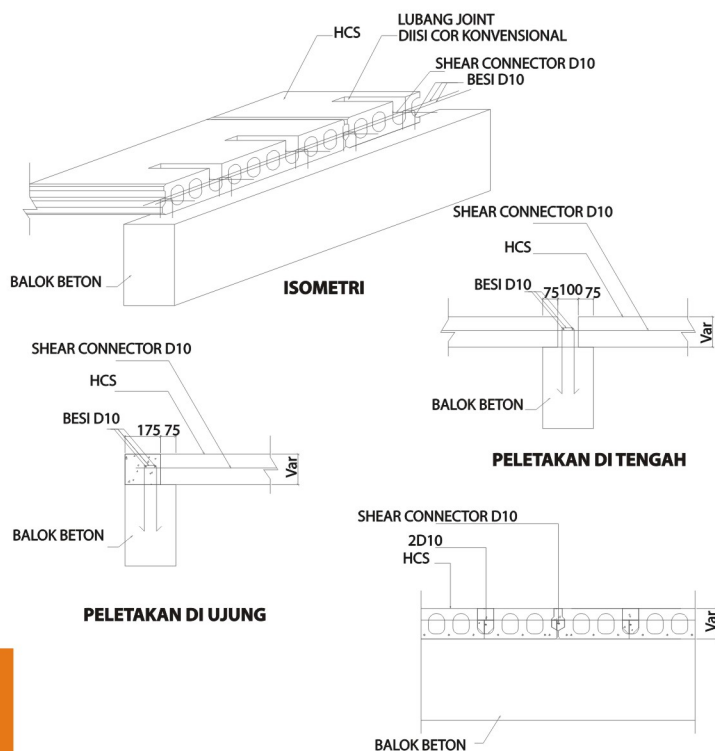
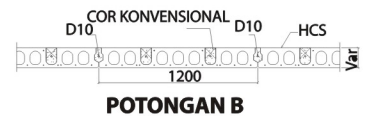
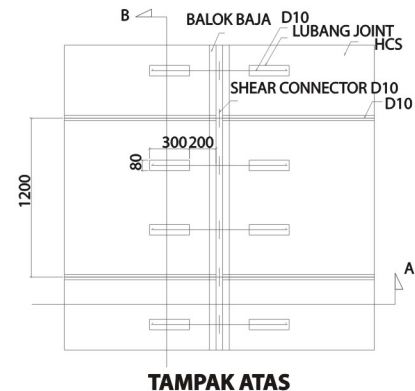
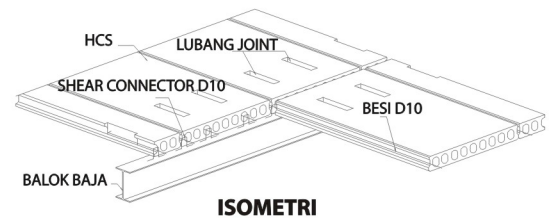
2. Alternatif HCS Dengan Topping

SPESIFIKASI KONSTRUKSI PEMASANGAN PLAT BETON BERONGGA PRATEGANG PRACETAK (HCS)

Peletakan HCS Pada Struktur Beton



Peletakan HCS Pada Struktur Baja



LOAD CAPACITY OF HCS (kg/m ²) Without Topping																
TIPE (t,d,n)	DAYA DUKUNG MAXIMAL (kg/m ²) (Netto, setelah dikurangi berat sendiri)															
	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	8,00
Bentang (m)																
120.05.12	590,00	500,00	420,00													
120.05.14	690,00	585,00	500,00	425,00												
120.05.16	790,00	675,00	575,00	495,00												
150.05.12	905,00	775,00	665,00	570,00	490,00	425,00										
150.05.14	1.040,00	895,00	770,00	670,00	580,00	500,00	435,00	375,00								
150.05.16	1.180,00	1.015,00	880,00	765,00	665,00	580,00	510,00	445,00	385,00	340,00						
150.07.12	1.530,00	1.330,00	1.160,00	1.015,00	890,00	785,00	695,00	615,00	545,00	480,00	425,00	380,00				
150.07.14	1.800,00	1.565,00	1.370,00	1.205,00	1.060,00	940,00	835,00	731,66	643,00	569,74	506,49	452,28	405,53	365,01		
200.05.12	1.470,00	1.270,00	1.100,00	960,00	840,00	735,00	645,00	565,00	495,00	435,00	380,00	330,00				
200.05.14	1.670,00	1.445,00	1.255,00	1.100,00	965,00	850,00	745,00	660,00	580,00	515,00	455,00	400,00	350,00			
200.05.16	1.865,00	1.620,00	1.415,00	1.240,00	1.090,00	960,00	850,00	755,00	670,00	595,00	530,00	470,00	415,00	370,00	325,00	
200.07.12	2.370,00	2.065,00	1.810,00	1.595,00	1.415,00	1.255,00	1.120,00	1.000,00	895,00	800,00	720,00	645,00	580,00	520,00	470,00	420,00
200.07.14	2.755,00	2.410,00	2.120,00	1.870,00	1.660,00	1.480,00	1.325,00	1.185,00	1.065,00	960,00	865,00	780,00	705,00	640,00	580,00	525,00
200.07.16	3.145,00	2.750,00	2.425,00	2.145,00	1.910,00	1.705,00	1.525,00	1.375,00	1.235,00	1.120,00	1.010,00	915,00	835,00	755,00	690,00	625,00
250.07.12	3.240,00	2.830,00	2.490,00	2.200,00	1.955,00	1.745,00	1.560,00	1.400,00	1.255,00	1.135,00	1.025,00	925,00	835,00	755,00	685,00	620,00
250.07.14	3.740,00	3.275,00	2.885,00	2.555,00	2.275,00	2.035,00	1.825,00	1.640,00	1.480,00	1.340,00	1.215,00	1.100,00	1.000,00	910,00	830,00	755,00
250.07.16	4.245,00	3.720,00	3.285,00	2.915,00	2.595,00	2.325,00	2.090,00	1.885,00	1.705,00	1.545,00	1.405,00	1.275,00	1.165,00	1.065,00	970,00	890,00
t = tebal pelat (mm); d = diameter PC - WIRE (mm); n = jumlah PC - WIRE																

LOAD CAPACITY OF HCS (kg/m ²) With Topping = 50,00 mm + Wire Mesh M5-150																
TIPE (t,d,n)	DAYA DUKUNG MAXIMAL (kg/m ²) (Netto, setelah dikurangi berat sendiri)															
	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	8,00
Bentang (m)																
120.05.12	831,70	675,40	544,41	433,56	338,92											
120.05.14	999,10	823,68	676,68	522,27	446,05	354,64										
120.05.16	1.166,49	971,96	808,94	670,98	553,18	451,82	363,95									
150.05.12	1.220,89	1.022,24	855,78	714,90	594,61	491,10	401,38	323,11								
150.05.14	1.426,92	1.204,75	1.018,56	861,00	726,47	610,70	510,36	422,81	345,98							
150.05.16	1.632,95	1.387,25	1.181,35	1.007,10	858,33	730,30	619,33	522,52	437,55	362,57						
150.07.12	2.165,03	1.858,57	1.601,76	1.384,42	1.198,86	1.039,17	900,76	780,01	674,03	580,51	497,58	423,69				
150.07.14	2.568,84	2.216,28	1.920,83	1.670,78	1.457,3	1.273,59	1.114,35	975,43	853,50	745,92	650,5	565,50	489,43	421,10	359,49	
200.05.12	1.880,67	1.605,75	1.375,37	1.180,4	1.013,93	870,67	746,51	638,18	543,11	459,22	384,82	318,53				
200.05.14	2.150,64	1.844,89	1.588,68	1.371,84	1.186,71	1.027,39	889,3	768,82	663,09	569,79	487,05	413,33	347,37			
200.05.16	2.420,6	2.084,30	1.081,98	1.563,28	1.359,49	1.184,10	1.032,09	899,47	783,03	680,37	589,29	508,14	435,52	370,29	311,47	
200.07.12	3.112,45	2.696,88	2.348,63	2.053,90	1.802,27	1.585,72	1.398,02	1.234,28	1.090,56	963,75	851,29	751,09	661,43	580,89	508,26	442,55
200.07.14	3.641,58	3.165,59	2.766,71	2.429,13	2.140,91	1.892,88	1.677,9	1.490,34	1.325,73	1.180,48	1.051,67	936,90	834,21	742,95	658,77	583,51
200.07.16	4.053,03	3.590,23	3.184,79	2.804,36	2.479,56	2.200,04	1.957,77	1.746,40	1.560,90	1.397,22	1.252,05	1.122,71	1.006,99	903,02	809,28	724,46
250.07.12	4.087,93	3.557,85	3.113,63	2.737,68	2.416,71	2.140,49	1.901,07	1.692,20	1.508,89	1.347,13	1.203,67	1.075,86	961,49	858,76	766,12	682,30
250.07.14	4.741,06	4.136,40	3.629,68	3.200,84	2.834,71	2.519,63	2.246,53	2.008,27	1.799,16	1.614,65	1.451,01	1.305,22	1.174,76	1.057,57	951,90	856,29
250.07.16	5.394,19	4.714,95	4.145,73	3.664,00	3.252,71	2.898,77	2.591,98	2.324,34	2.089,44	1.882,17	1.698,35	1.534,57	1.388,03	1.256,38	1.137,68	1.030,27
t = tebal pelat (mm); d = diameter PC - WIRE (mm); n = jumlah PC - WIRE																



Tabel Luasan Dinding Pengisi dengan Kolom Praktis
Table Extents Wall Charger with Column Practical

Kondisi luasan dinding pengisi terjepit 4 sisi



Tinggi Dinding (m)	Panjang Dinding (m)							
	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
2,50	75	75	75	100	100	100	100	100
3,00	75	75	100	100	100	125	125	125
3,50	100	100	100	125	125	125	150	150
4,00	125	125	125	125	125	150	150	175
4,50	150	150	150	150	150	150	175	175

*Tebal Bata Ringan Citicon dalam mm

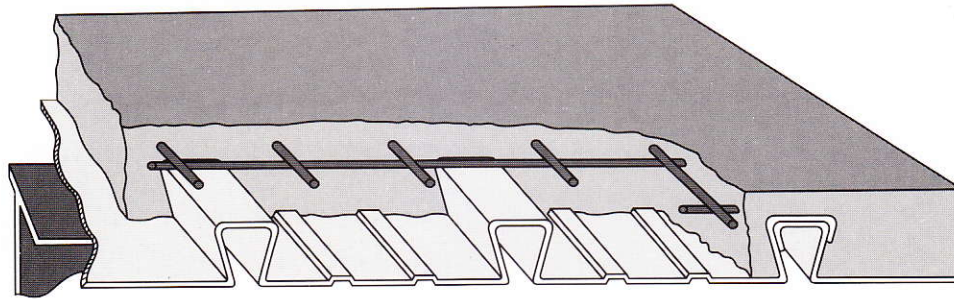
Kondisi luasan dinding pengisi terjepit 3 sisi



Tinggi Dinding (m)	Panjang Dinding (m)							
	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
2,50	75	75	100	100	100	125	125	125
3,00	75	100	100	125	125	125	150	150
3,50	100	100	125	125	150	150	150	175
4,00	125	125	125	125	150	150	175	200
4,50	150	150	150	150	150	175	200	200

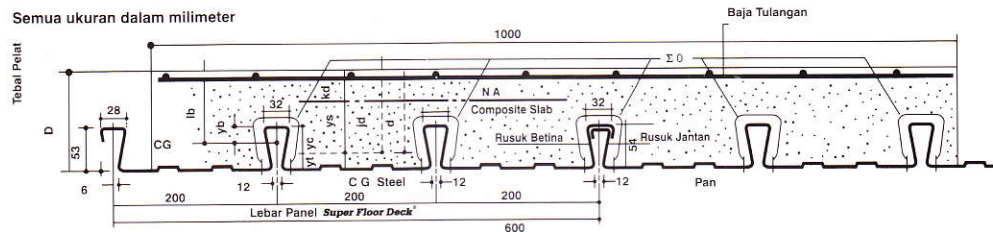
*Tebal Bata Ringan Citicon dalam mm

Super Floor Deck®



PERENCANAAN: Plat Lantai Komposit

Semua ukuran dalam milimeter



Tabel Perencanaan Praktis

Tabel Perencanaan Praktis berikut ini bisa membantu dalam perencanaan penggunaan **Super Floor Deck®** untuk suatu bangunan antara lain:

- Menunjukkan tabel plat beton untuk bentang tunggal, bentang ganda, dan bentang menerus.
- Kebutuhan tulangan negatif, serta perhitungan luas penampangnya, pada bentang ganda atau bentang menerus.
- Ketebalan plat beton pada bentang tertentu, serta berbagai beban (Super Imposed Load)
- Tiang penyangga sementara yang dibutuhkan untuk meniadakan lendutan awal pada waktu beton dan **Super Floor Deck®** belum berfungsi.

TABEL 1 : SIFAT PENAMPANG **Super Floor Deck® PERLEBAR 1000 MM**

Tebal Pelat	Berat per satuan luas	Luas penampang	Penampang efektif penuh		Momen lentur positif			Momen lentur negatif			Ie	Gaya reaksi aman untuk perletakan tepi			Gaya reaksi aman untuk perletakan tengah		
												10 mm perletakan	Pertambahan per 10 mm	max	10 mm perletakan	Pertambahan per 10 mm	Max
			mm	kg / m ²	mm ²	mm	mm	10 ⁴ x mm ⁴	10 ³ x mm ³	10 ³ x mm ³		10 ⁴ x mm ⁴	10 ³ x mm ³	10 ³ x mm ³	10 ⁴ x mm ⁴	10 mm Of Bearing KN	Incrern, Per 10 mm KN
0.75	10.1	1241	38.6	15.4	0.511	13.15	33.14	0.309	10.21	10.73	0.425	3.76	0.99	8.11	15.01	1.14	19.19

Catatan : Ip = momen inersia profil panel untuk daerah momen positif

Notes

In = idem untuk daerah momen negatif

Znt = momen tahanan, puncak rusuk dalam daerah momen negatif (tegangan tarik)

Znc = idem, dasar dek dalam daerah momen negatif (tegangan tekan)

Zpc = idem, puncak rusuk, dalam daerah momen positif (tegangan tekan)

Zpt = idem, dasar dek, dalam daerah momen positif (tegangan tarik)

Ie = momen inersia ekuivalen untuk perhitungan lendutan bentang menerus

= Ip (1.26 - 0.26 Ip/in)

TABEL 2 : TABEL PERENCANAAN PRAKTIS

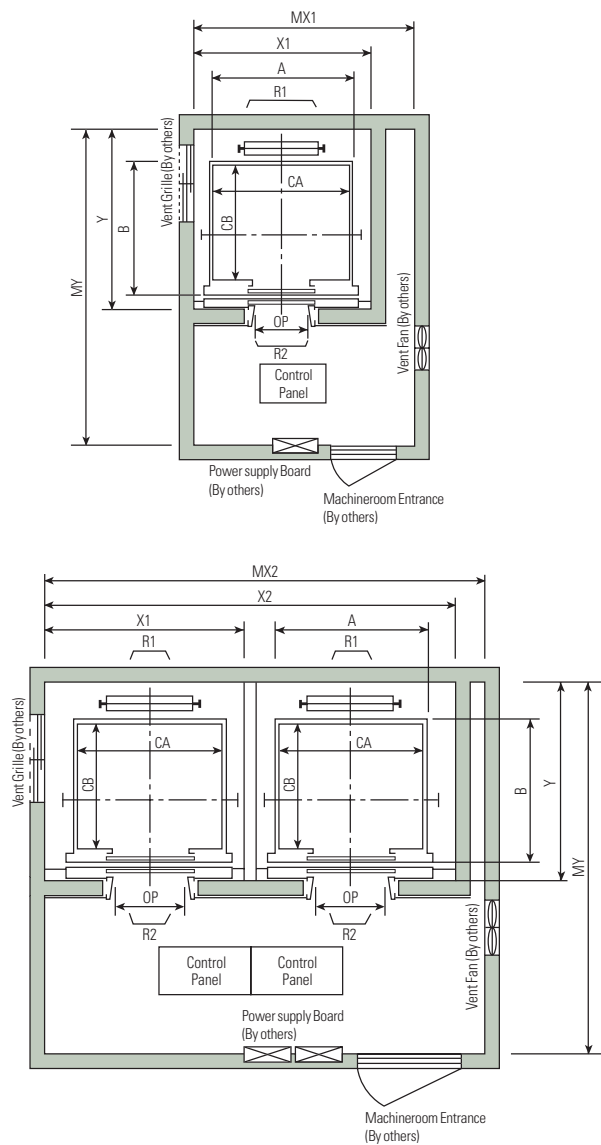
Super Floor Deck® 0.75 MM		BENTANG TUNJANG TANPA TULANGAN NEGATIF SAMPLE SPAN CONDITION WITHOUT NEGATIVE REINFORCEMENT								BENTANG GANDA DENGAN TULANGAN NEGATIF DOUBLE SPAN CONDITIONS WITH NEGATIVE REINFORCEMENT								BENTANG MENERUS DENGAN TULANGAN NEGATIF MULTIPLE SPAN CONDITIONS WITH NEGATIVE REINFORCEMENT																			
BEBAN BERGUNA SUPER IMPOSED LOAD KG/M ²		200	300	400	500	600	750	1000		200	300	400	500	600	750	1000		200	300	400	500	600	700	1000													
TIANG PENYANGGA PROPPING	BENTANG SPAN M	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M	TEBAL PELAT SLAB DEPTH CM	TUL NEGATIF NEG. REINF. CM ² /M							
		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9					
TANPA PENYANGGA NO. PROPS	1.50	9	9	9	9	9	9	9	9	0.75	9	0.91	9	1.07	9	1.24	9	1.40	9	1.66	9	2.08	9	0.59	9	0.73	9	0.85	9	0.98	9	1.11	9	1.31	9	1.65	
	1.75	9	9	9	9	9	9	10	9	1.03	9	1.25	9	1.48	9	1.71	9	1.94	9	2.29	10	2.53	9	0.81	9	0.99	9	1.17	9	1.35	9	1.53	9	1.81	10	2.00	
	2.00	9	9	9	9	9	9	10	9	1.36	9	1.65	9	1.95	9	2.26	9	2.57	9	3.04	10	3.35	9	1.07	9	1.31	9	1.55	9	1.79	9	2.03	9	2.39	10	2.65	
	2.25	9	9	9	9	9	10	11	9	1.73	9	2.12	9	2.50	9	2.90	9	3.29	9	3.89	11	3.85	9	1.37	9	1.68	9	1.98	9	2.30	9	2.60	9	3.08	11	3.04	
	2.50	9	9	9	9	9	10	14	9	2.16	9	2.65	9	3.13	9	3.62	9	4.11	10	4.29	14	3.69	9	1.71	9	2.09	9	2.48	9	2.86	9	3.25	10	3.39	14	2.92	
SATU BARIS PENYANGGA ONE ROW PROPS	2.75	10	10	10	10	11	12	15	9	2.64	9	3.24	9	3.83	10	3.94	11	4.02	12	4.29	15	4.23	9	2.09	9	2.25	9	3.02	10	3.11	11	3.18	12	3.39	15	3.33	
	3.00	10	10	10	11	12	13		9	3.17	9	3.87	10	4.10	11	4.28	12	4.41	13	4.74			9	2.51	9	3.07	10	3.25	11	3.38	12	3.49	13	3.75			
	3.25	11	11	11	12	12	13	14		10	3.41	10	4.13	10	4.87	12	4.65	13	4.83	14	5.22			10	2.70	10	3.27	10	3.84	12	3.67	13	3.82	14	4.12		
	3.50	12	12	12	12	13	15																														
DUA BARIS PENYANGGA TWO ROW PROPS	3.75	13	13	13	13	14				11	4.25	11	5.11	11	5.99	13	5.83	14	6.09																		
	4.00	14	14	14	14	15				12	4.55	12	5.43	12	6.33	14	6.24	15	6.55																		
	4.50									13	5.49	13	6.51	14	7.06	15	7.53																				
	5.00									15	6.20	15	7.27	15	8.90																						

Catatan : - BEBAN MATI (BERAT SENDIRI **Super Floor Deck®** DAN PELAT BETON) SUDAH DIPERHITUNGKAN

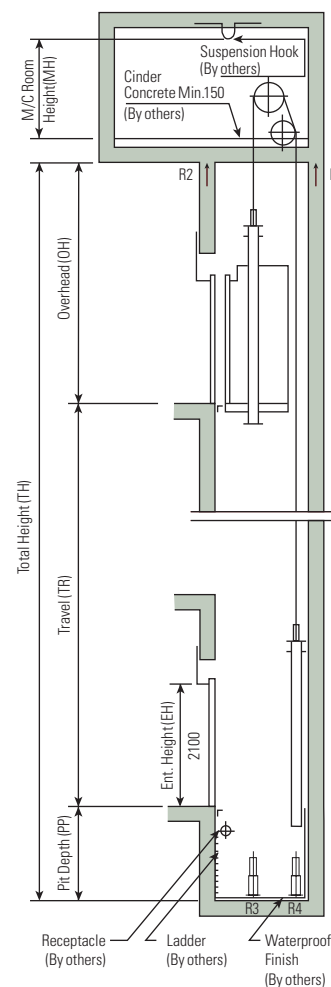
- BEBAN BERGUNA DALAM TABEL ADALAH JUMLAH BEBAN HIDUP DAN BEBAN-FINISHING LAINNYA

- MUTU BAJA TULANGAN U - 48

Plan of Hoistway & Machine Room



Section of Hoistway



Overhead & Pit Depth

(Unit : mm)

Load (kg)	450 ~ 1000		1150 ~ 1600		M/C Room Height (MH)
	Overhead (OH)	Pit Depth (PP)	Overhead (OH)	Pit Depth (PP)	
1.0	4200	1300	4200	1400	2200
1.5	4400	1400	4400	1500	2400
1.75	4500	1500	4500	1600	
2.0	4700	1900	4700	2000	2600
2.5	5000	2200	5000	2200	

- Notes : 1. Above dimentions are applied for car height of 2500mm, for other applicable dimensions, contact us.
2. In case of requested double isolation pad, machine room height should be increased 200mm.
3. Machine room temperature should be maintained below 40 °C with ventilating fan and/or air conditioner (if necessary) and humidity below 90%.

Standard Dimensions & Reactions

Manufacturer Standard

(Unit : mm)

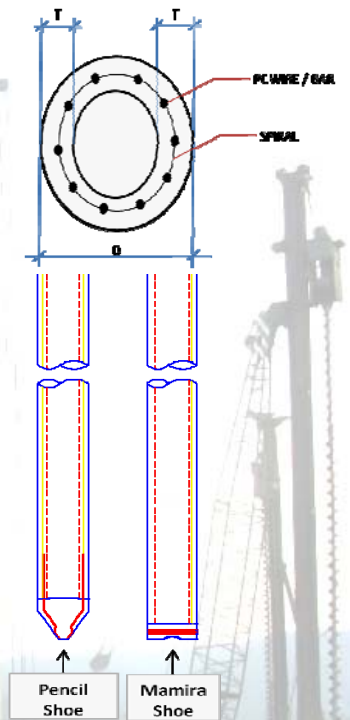
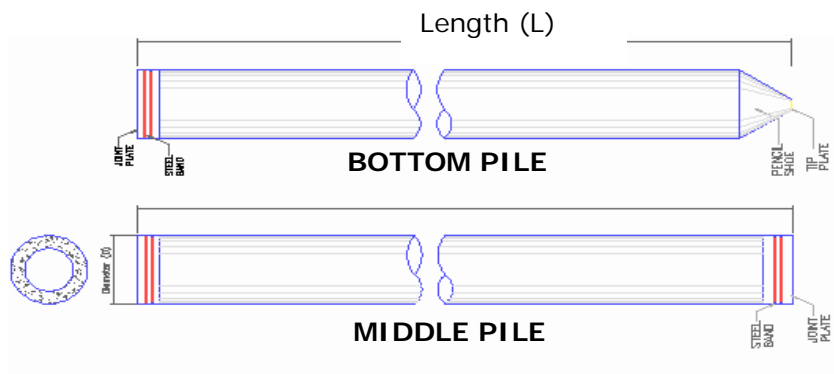
Speed (m/sec)	Capacity		Opening Type	Clear Opening	Car		Hoistway Size			Machine Room Size			M/C Room Reaction (kg)		Pit Reaction (kg)		
					Internal	External	1Car	2Cars	Depth	1Car	2Cars	Depth	R1	R2	R3	R4	
	Persons	kg		OP	CA × CB	A × B	X1	X2	Y	MX1	MX2	MY					
1.0	6	450	2 Panel Center Open	800	1400 x 850	1460 x 1005	1800	3700	1450	2000	4000	3200	3600	2000	5400	4500	
	8	550		800	1400 x 1030	1460 x 1185	1800	3700	1650	2000	4000	3400	4050	2250	6000	4900	
	9	600		800	1400 x 1130	1460 x 1285	1800	3700	1750	2000	4000	3500	4100	2450	6300	5100	
	10	700		800	1400 x 1250	1460 x 1405	1800	3700	1850	2000	4000	3600	4200	2700	6800	5400	
	11	750		800	1400 x 1350	1460 x 1505	1800	3700	1950	2000	4000	3700	4550	2800	7100	5600	
1.5	13	900		900	1600 x 1350	1660 x 1505	2050	4200	1950	2300	4400	3750	5100	3750	8100	6300	
	15	1000		900	1600 x 1500	1660 x 1655	2050	4200	2100	2300	4400	3850	5450	4300	8600	6600	
	1.75	1150		1000	1800 x 1500	1900 x 1670	2350	4800	2200	2600	4900	3900	6600	5100	11000	8700	
1100				2000 x 1350	2100 x 1520	2550	5200	2050	2800	5250	3800						
1000				1800 x 1700	1900 x 1870	2350	4800	2400	2600	4900	4200	7800	6000	12200	9500		
1100				2000 x 1500	2100 x 1670	2550	5200	2200	2800	5250	4000						
2.0	24	1600		1100	2000 x 1750	2100 x 1920	2550	5200	2450	2900	5400	4300	8500	6800	13600	10400	
					2150 x 1600	2250 x 1770	2700	5500	2300	3000	5650	4200					
	13	900		900	1600 x 1350	1700 x 1520	2250	4600	2100	2550	4600	4250	12030	6650	9000	7500	
	15	1000		900	1600 x 1500	1700 x 1670	2250	4600	2250	2550	4600	4250	12800	6950	9400	8000	
	2.5	1150		1000	1800 x 1500	1900 x 1670	2450	5000	2250	2750	5000	4450	13080	7150	11000	8700	
				1100	2000 x 1350	2100 x 1520	2650	5400	2100	2950	5400	4650					
				1000	1800 x 1700	1900 x 1870	2450	5000	2450	2750	5000	4450					
	2.5	1350		1100	2000 x 1500	2100 x 1670	2650	5400	2250	2950	5400	4650	14350	7650	12200	9500	
				1100	2000 x 1750	2100 x 1920	2650	5400	2500	2950	5400	4650					
24				1600	1100	2000 x 1750	2100 x 1920	2650	5400	2500	2950	5400	4650	15100	8100	13600	10400
2150 x 1600	2250 x 1770	2800	5700	2350		3100	5700	4800									

EN81 Standard

(Unit : mm)

Speed (m/sec)	Capacity		Opening Type	Clear Opening	Car		Hoistway Size			Machine Room Size			M/C Room Reaction (kg)		Pit Reaction (kg)	
					Internal	External	1Car	2Cars	Depth	1Car	2Cars	Depth	R1	R2	R3	R4
	Persons	kg		OP	CA × CB	A × B	X1	X2	Y	MX1	MX2	MY				
1.0	6	450	2 Panel Center Open	700	1100 x 1100	1160 x 1250	1550	3200	1700	1800	3500	3450	3600	2000	5400	4500
				800	1400 x 850	1460 x 1005	1800	3700	1450	2000	4000	3200				
	7	550		800	1400 x 1030	1460 x 1185	1800	3700	1650	2000	4000	3400	4050	2250	6000	4900
	8	630		800	1400 x 1100	1460 x 1255	1800	3700	1700	2000	4000	3450	4100	2450	6300	5100
	9	700		800	1400 x 1250	1460 x 1405	1800	3700	1850	2000	4000	3600	4200	2700	6800	5400
1.5	10	800		800	1400 x 1350	1460 x 1505	1800	3700	1950	2000	4000	3700	4550	2800	7100	5600
	12	900		900	1600 x 1300	1660 x 1455	2050	4200	1900	2300	4400	3700	5100	3750	8100	6300
	13	1000		900	1600 x 1400	1660 x 1555	2050	4200	2000	2300	4400	3700	5450	4300	8600	6600
1.75	15	1150		1000	1800 x 1400	1900 x 1570	2350	4800	2100	2600	4900	3800	6600	5100	11000	8700
				1100	2000 x 1300	2100 x 1470	2550	5200	2000	2800	5250	3750				
	18	1350		1000	1800 x 1650	1900 x 1820	2350	4800	2350	2600	4900	4150	7800	6000	12200	9500
				1100	2000 x 1500	2100 x 1670	2550	5200	2200	2800	5250	4000				
				1100	2000 x 1700	2100 x 1870	2550	5200	2400	2900	5400	4250				
2150 x 1600	2250 x 1770	2700			5500	2300	3000	5650	4200							
2.0	10	800		800	1400 x 1350	1500 x 1520	2050	4200	2100	2350	4200	4100	10500	6400	8200	7300
	12	900		900	1600 x 1300	1700 x 1470	2250	4600	2050	2550	4600	4050	12030	6650	9000	7500
	13	1000	900	1600 x 1400	1700 x 1570	2250	4600	2150	2550	4600	4150	12800	6950	9400	8000	
	15	1150	1000	1800 x 1500	1900 x 1670	2450	5000	2250	2750	5000	4450	13080	7150	11000	8700	
			1100	2000 x 1350	2100 x 1520	2650	5400	2100	2950	5400	4650					
2.5	18	1350	1000	1800 x 1700	1900 x 1870	2450	5000	2450	2750	5000	4450	14350	7650	12200	9500	
			1100	2000 x 1500	2100 x 1670	2650	5400	2250	2950	5400	4650					
			1100	2000 x 1750	2100 x 1920	2650	5400	2500	2950	5400	4650					15100
	2150 x 1600	2250 x 1770		2800	5700	2350	3100	5700	4800							

Shape and Dimension

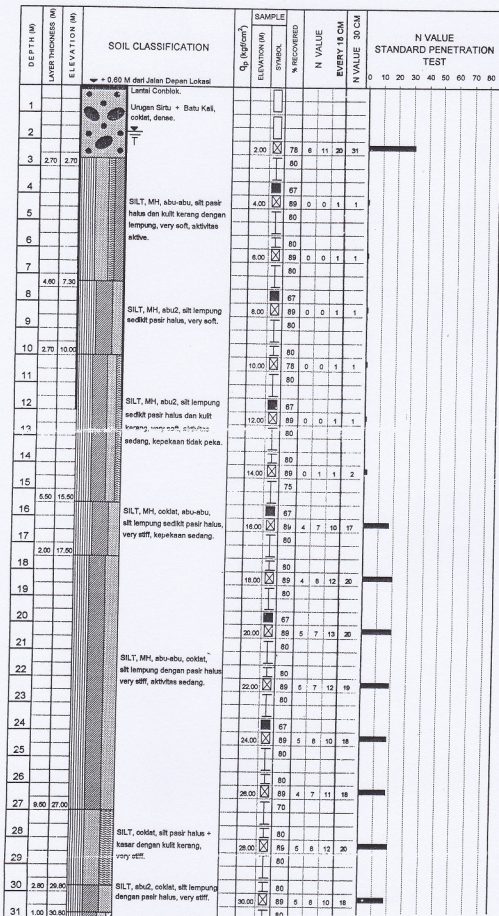


Classification

Outside Diameter D (mm)	Wall Thickness T (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Unit Weight (kg/m)	Length L (M)	Bending Moment		Allowable Axial Load (Ton)
						Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
		C				12.50	25.00	134.90
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
		B				15.00	27.00	174.90
		C				17.00	34.00	169.00
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				29.00	58.00	229.50
800	120	A1	2564	641	6 - 24	40.70	63.60	415.00
		A2				46.20	84.40	406.20
		A3				51.00	97.80	398.20
		B				55.70	108.20	390.80
		C				70.60	129.80	367.60
1000	140	A1	3872	946	6 - 24	75.00	117.90	614.00
		A2				82.30	139.80	604.80
		A3				93.30	170.90	590.60
		B				105.70	199.70	575.00
		C				123.60	229.90	552.90
1200	150	A1	4948	1237	6 - 24	120.00	180.00	802.40
		A2				130.00	195.00	794.00
		A3				145.00	217.50	778.10
		B				170.00	306.00	751.50
		C				200.00	400.00	721.10

BORING LOG & SPT DIAGRAM

PROJECT : APARTMENT PURI MAS 14 LANTAI + SEMI BASEMENT
LOCATION : JL. RUNGKUT MADYA - SURABAYA
HOLE : DB II
DATE of TEST : 01 - 07 AGUSTUS 2010



BIODATA PENULIS



Ilham Pratama Budiono

Lahir di Surabaya pada tanggal 21 Agustus 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Kepuh Kiriman I Sidoarjo (2001-2007), SMPN 10 Surabaya (2007-2009), SMPN 7 Madiun (2009-2010), SMAN 2 Madiun (2010-2013) dan pada tahun 2013 Penulis melanjutkan pendidikan Sarjana di Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 3113 100 036. Penulis mengambil bidang studi struktur dengan judul tugas akhir “Modifikasi Perencanaan Struktur Baja Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE) dengan Perbandingan Berat Material Baja terhadap Sistem *Staggered Truss Frames* (STF) pada Apartemen Purimas Surabaya”.

Contact Person:

Email : hampratam@gmail.com